МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра міського будівництва і архітектури

Кваліфікаційна робота/проєкт

другий магістерський рівень
(рівень вищої освіти)

на тему: **Аналіз гідравлічних режимів та обгрунтування методів реновації інженерних мереж**

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1923-вв
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми водопостачання та водовідведення
(код і назва освітньої програми)
Данкевич С.Ю.
(призвище та ініціали)

Керівник доц., к.т.н., доц. Добровольська О.Г.
(посада, вчене звання, науковий ступень, призвище та ініціали)

Рецензент зав.каф. МБА, доц., к.т.н. Банах А.В.
осада, вчене звання, науковий ступень, призвище та ініціал

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра **Міського будівництва і архітектури**
Рівень вищої освіти **другий магістрський рівень**
(другий (магістерський) рівень)
Спеціальність **192 "Будівництво та цивільна інженерія"**
(шифр і назва)
Освітньо-професійна пограма **"Водопостачання та водовідведення"**
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МБА
доц. Банах А.В.
"02" вересня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКЦІЙНУ РОБОТУ /ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Данкевич Сергій Юрійович
(прізвище, ім`я по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Аналіз гідравлічних режимів та обгрунтування методів реновації інженерних мереж

керівник роботи Добровольська О.Г., доцент кафедри МБА, к.т.н.
(прізвище, ім`я по батькові, науковий ступень, вчене звання)

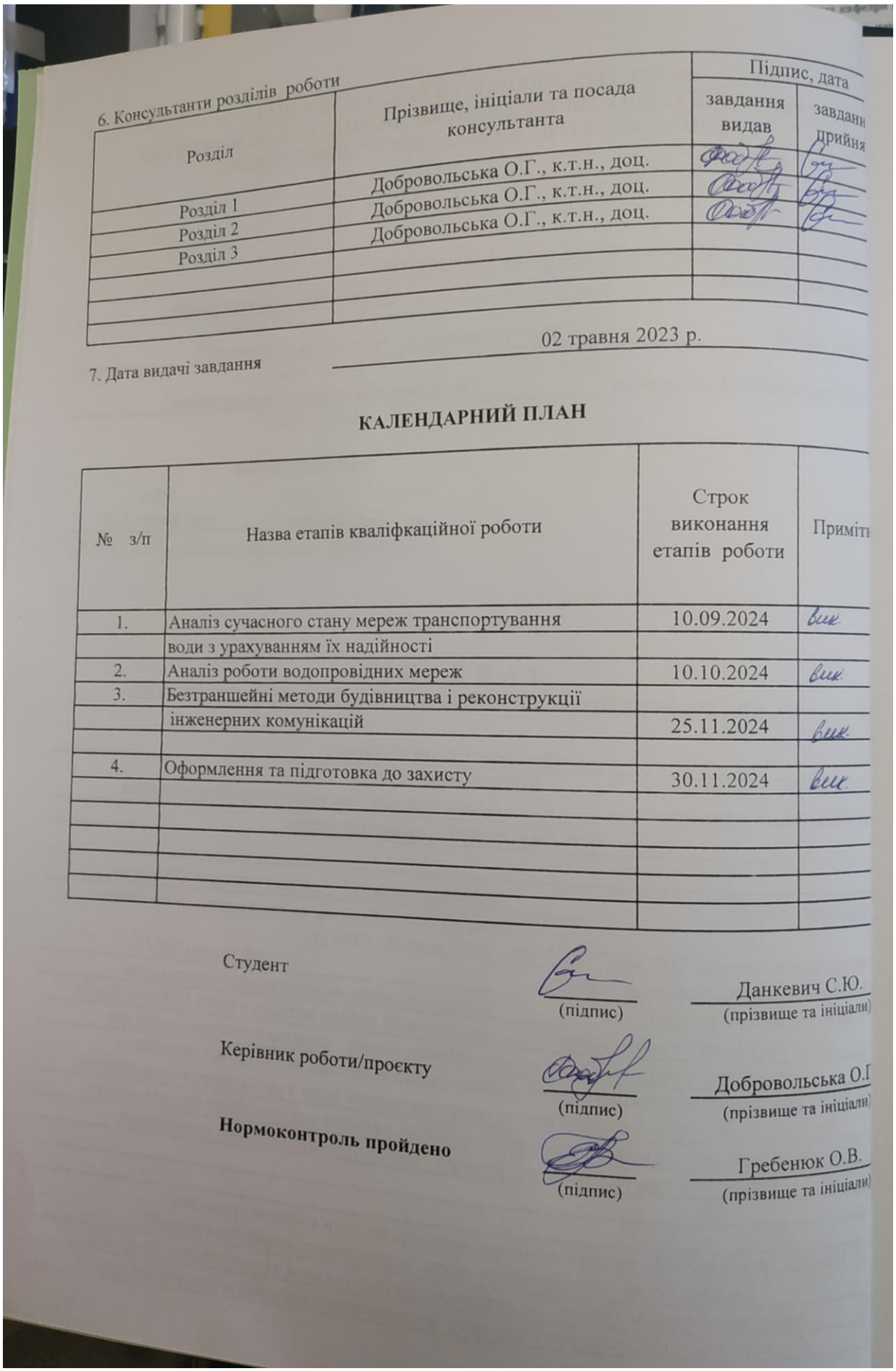
затверджені наказом ЗНУ від "_30_"_09__2024 року №_1486 - с

2. Строк подання студентом роботи 01 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи схеми кільцевих водопровідних мереж міста, місто знаходиться на позначці 45 м., максимальна добова витрата в місті 150000 м3/добу. структурні схеми вихідних водопровідних мереж , науково-технічна література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вступ, аналіз сучасного стану мереж транспортування води з урахуванням їх надійності, аналіз роботи водопровідних мереж, актуальні питання використання безтраншейних технологій при будівництво, ремонті і реконструкції підземних комунікацій

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов`язкових креслень) Генплан міста, п'єзометричні карти, поделювання аварійних ситуацій, карти недостатнього тиску для мережі за схемою 1, карти недостатнього тиску для мережі за схемою 2, технологічна карта безтраншейної прокладки інженерної мережі



6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийня
Розділ 1	Добровольська О.Г., к.т.н., доц.		
Розділ 2	Добровольська О.Г., к.т.н., доц.		
Розділ 3	Добровольська О.Г., к.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання 02 травня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфкаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт
1.	Аналіз сучасного стану мереж транспортування	10.09.2024	вик.
	води з урахуванням їх надійності		
2.	Аналіз роботи водопровідних мереж	10.10.2024	вик.
3.	Безтраншейні методи будівництва і реконструкції		
	інженерних комунікацій	25.11.2024	вик.
4.	Оформлення та підготовка до захисту	30.11.2024	вик.

Студент (підпис) Данкевич С.Ю. (прізвище та ініціали)

Керівник роботи/проєкту (підпис) Добровольська О.Г (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено (підпис) Гребенюк О.В. (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Данкевич С.Ю. Аналіз гідравлічних режимів та обґрунтування методів реновації інженерних мереж.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – будівництво та цивільна інженерія. Науковий керівник – О.Г. Добровольська, Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні. Кафедра міського будівництва і архітектури, 2024 р.

Виконано аналіз водного господарства та оцінка технічного стану, заданої шкоди та потреб відновлення інженерних мереж. Розроблено та обґрунтовано методику визначення зон недостатнього напору при пошкодженні окремих ділянок мережі. Здійснено порівняльний аналіз традиційних та сучасних методів відновлення інженерних систем. Наведено чинники, які треба враховувати під час прийняття рішення про ремонт водопровідних мереж безтраншейними технологіями.

Ключові слова: інженерні системи та мережі, трубопроводи, гідравлічний розрахунок; вільні тиски; п’єзометричні карти; методи безтраншейного відновлення.

Список публікацій магістранта:

1. Добровольська О., Данкевич С. Аналіз сучасного стану інженерних мереж та застосування методів їх реконструкції. *Молода наука–2024* : зб. тез доп. XVII універ. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 17-22 квіт. 2024 р. Запоріжжя, 2024. С. 237–238.
URL: https://sites.znu.edu.ua/stud-sci-soc//2009/tom_5_2024.pdf

2. Добровольська О.Г., Данкевич Н.О., Данкевич С.Ю. Удосконалення та модернізація інженерних об’єктів. *Зелене будівництво* : зб. тез доп. III міжнар. наук.-практ. інтер.-конф., м. Київ, 16-17 квітня 2024 р. Київ, 2024. С.

103–105. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyj-4.pdf

3. Добровольська О.Г., Данкевич Н.О., Данкевич С.Ю. Обґрунтування методів реновації інженерних об’єктів транспортування води. *Інженерні інновації та розбудова національної економіки* : зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 9-10 трав. 2024 р. Запоріжжя, 2024. С. 758–760. URL: https://www.znu.edu.ua/ukr/znu/university/11929/12623/12803

ANNOTATION

Dankevych S.Y. Analysis of Hydraulic Regimes And Substantiation of Engineering Network Renovation Methods.

Qualifying thesis for obtaining a master's degree in the specialty 192 - construction and civil engineering. Academic supervisor - Dobrovolska O.G., Zaporizhzhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Y. M. Potebny. Department of Urban Construction and Architecture, 2024.

An analysis of the water sector and an assessment of the technical condition, damage, and needs for the restoration of engineering networks were performed. A methodology for determining the areas of insufficient pressure in case of damage to individual sections of the network is developed and substantiated. A comparative analysis of traditional and modern methods of restoring engineering systems is carried out. The factors that should be taken into account when deciding on the repair of water supply networks using trenchless technologies are presented.

Keywords: engineering systems and networks, pipelines, hydraulic calculation; free pressures; piezometric maps; trenchless rehabilitation methods.

List of postgraduate publications

1. Добровольська О., Данкевич С. Аналіз сучасного стану інженерних мереж та застосування методів їх реконструкції. *Молода наука–2024* : зб. тез доп. XVII універ. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 17-22 квіт. 2024 р. Запоріжжя, 2024. С. 237–238.
URL: https://sites.znu.edu.ua/stud-sci-soc//2009/tom_5_2024.pdf

2. Добровольська О.Г., Данкевич Н.О., Данкевич С.Ю. Удосконалення та модернізація інженерних об’єктів. Зелене будівництво : зб. тез доп. III міжнар. наук.-практ. інтер.-конф., м. Київ, 16-17 квітня 2024 р. Київ, 2024. С. 103–105. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyj-4.pdf

3. Добровольська О.Г., Данкевич Н.О., Данкевич С.Ю. Обґрунтування методів реновації інженерних об’єктів транспортування води. *Інженерні інновації та розбудова національної економіки* : зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 9-10 трав. 2024 р. Запоріжжя, 2024. С. 758–760. URL: https://www.znu.edu.ua/ukr/znu/university/11929/12623/12803

ЗМІСТ

С.

ВСТУП…..... 9

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕРЕЖ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ З УРАХУВАННЯМ ЇХ НАДІЙНОСТІ… 13

1.1 Аналіз стану водопровідних мереж в умовах війни……. 13

1.2 Моделювання систем транспортування води…….. 16

1.3 Аналіз динаміки робочих параметрів мереж в процесі експлуатації……. 19

1.4 Аналіз стану мереж транспортування води в Україні…….. 21

1.5 Аналіз стану мереж транспортування води в Запоріжжі…… 26

2 АНАЛІЗ РОБОТИ ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ…….. 29

2.1 Мета і задачі дослідження……. 29

2.2 Формування вихідних даних……. 29

2.3 Методика дослідження…….. 30

2.4 Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі за схемою №1 31

2.4.1 Режим водоспоживання…….. 31

2.4.2 Вибір режиму роботи насосної станції другого підйому та визначення ємностей регулюючих резервуарів……... 33

2.4.3 Підготовка вихідних даних для розрахунку …… 37

2.4.4 Гідравлічна ув'язка водопровідної мережі за схемою № 1…. 38

2.4.5 Моделювання та розрахунок аварійних режимів за схемою №1……. 39

2.4.6 Визначення п’єзометричних позначок та вільних напорів у вузлах мережі…….. 39

2.4.7 Розрахунок водогонів для водопровідної мережі за схемою № 1…… 40

2.4.8 Побудова сумісного графіку роботи насосів та водогонів….. 41
2.5 Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі за схемою №2 44
2.6 Розрахунок водогонів водопровідної мережі за схемою №2…. 45
2.7 Побудова сумісного графіку роботи насосів та водогонів для мережі за схемою №2…… 46
2.8 Розрахунок площі недостатніх напорів при аваріях…… 50
3 БЕЗТРАНШЕЙНІ МЕТОДИ БУДІВНИЦТВА І РЕКОНСТРУКЦІЇ ІНЖЕНЕРНИХ КОМУНІКАЦІЙ……. 52
3.1 Актуальні питання використання безтраншейних технологій при будівництво, ремонті і реконструкції підземних комунікацій…… 52
3.2 Оцінка необхідності проведення ремонтних робіт трубопроводів. Вибір методів реконструкції…….. 54
3.3 Безтраншейні технології відновлення трубопроводів: релайнінг і реновація……. 57
3.4 Безтраншейні технології будівництва трубопроводів - горизонтальне спрямоване буріння…….. 64
3.5 Безтраншейні технології в міських умовах…….. 69
3.6 Вимоги до якості і приймання робіт…… 71
3.7 Матеріально-технічні ресурси…….. 73
3.8 Охорона праці і техніка безпеки при улаштуванні полімерних трубопроводів…… 74
ВИСНОВКИ……..... 80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….. 82

ВСТУП

Актуальність теми магістерської роботи. Водопровідні мережі населених міст – складна гідравлічна система, забезпечення надійності роботи якої є першочерговою задачею. Системи подачі і розподілу води, одним з елементів яких є водопровідні мережі, визначають надійну та економічну роботу всього комплексу водопровідних споруд. Сучасний розвиток водопостачання в Україні іде шляхом реконструкції та інтенсифікації роботи діючих споруд систем водопостачання. Стан цих споруд характеризується зношенням, низькою ефективністю роботи, високою аварійністю. Питання гарантованого та надійного водозабезпечення не можуть бути вирішені без вирішення питань їх надійної та економічної роботи. Поліпшення трасувань мереж є першим етапом на шляху їх реконструкції. При аваріях на окремих ділянках потокорозподіл в мережі може змінюватись спонтанно в залежності від місця розташування аварійної ділянки. Тому доцільним буде проведення аналізу роботи мережі в аварійних умовах на стадії її проектування для визначення найбільш проблемних ділянок та обладнання їх контролюючим устаткуванням.

Дослідженню надійності роботи водопровідних мереж присвячена більшість праць М.М. Абрамова. На Україні питаннями надійності мереж займаються І.І. Науменко. М.О. Українець, В.Г.Новохатній, П.Д.Хоружий.

Будь-яка реконструкція, ремонт або реформа як локального, так і масштабного характеру може зайти в глуху безвихідь без розгляду в першу чергу питань пов'язаних із станом і реконструкцією інженерних систем. Левова частка проблем у галузі ЖКГ так чи інакше пов'язана з незадовільним станом інженерних трубопроводів. Причини, в основному, в моральному і матеріальному зносі трубопроводів, їх недостатньому терміні служби і ненадійності. Відповідно ремонти і спроби відновити такі системи старими способами проблеми не вирішують.

Суть вивчення і вирішення даної проблеми також полягає в пошуку надійніших, довговічніших, ремонтопридатних трубопроводів і комплектуючих, зменшенню вартості монтажних робіт, зниженню додаткових витрат, і, як наслідок мінімізація вартості як будівництва(реконструкції), так і подальшого обслуговування комунікацій.

Тенденція останніх років є свідченням того, що будівельні організації міст мегаполісів різних країн все більше уваги приділяють питанням використання перспективних безтраншейних технологій ремонту, відновлення та будівництва нових водопровідних мереж.

Головною перевагою безтраншейного методу прокладки трубопроводу є можливість проведення робіт там, де неможливо відрити траншею, а також збереження цілісності родючого шару ґрунту і асфальтового покриття, якщо необхідно прокласти комунікації під автодорогою. Безтраншейний метод скорочує тривалість виробництва робіт і необхідні людські ресурси, підвищує безпеку робіт, а також не вимагає спеціальних конструкцій для кріплення стінок траншей.

Отже, кожен з методів має свої переваги і недоліки, тому для ефективного їх використання необхідно провести комплексну оцінку технологічних параметрів, вартості, області застосування і термінів проведення робіт.

Об’єкт дослідження – кільцеві водопровідні мережі.

Предмет дослідження – моделювання аварійних ситуацій та аналіз впливу окремих ділянок на розподіл напорів в мережі, а також сучасні методи безтраншейних технологій ремонту, відновлення та будівництва нових водопровідних мереж, які скорочує тривалість виробництва робіт і необхідні людські ресурси, підвищує безпеку робіт.

Методи дослідження: При плануванні, проведені досліджень та обробці отриманих результатів використані математичне і комп’ютерне моделювання, методи гідравлічних розрахунків водопровідних мереж.

Мета роботи – дослідження впливу окремих ділянок мережі на розподіл тиску в її вузлах, формування зон недостатніх напорів та надійність мережі. Огляд існуючих передових методів будівництва та реконструкції інженерних мереж, визначити основні позитивні та негативні сторони їх застосування, отримати порівняльну оцінку з аналогічними методами.

Задачі досліджень. Для досягнення вказаної мети було потрібно:

- розробити розрахункові схеми водопровідної мережі;
- виконати гідравлічні розрахунки при нормальній роботі системи подачі та розподілу води;
- виконати моделювання можливих аварійних ситуацій;
- виконати гідравлічні розрахунки при аваріях на окремих ділянках;
- проаналізувати сумісну роботу насосних станцій і мереж при різних режимах;
- виконати аналіз сучасних методів безтраншейних технологій ремонту, відновлення та будівництва нових інженерних мереж;
- розробити організаційно-технологічні рішення безтраншейної технології прокладання інженерних мереж (горизонтальне спрямоване буріння);

Наукова новизна отриманих результатів. Розроблено та обґрунтовано методику визначення зон недостатнього напору при пошкодженні окремих ділянок мережі; вперше запропоновано застосовувати дані протрасування мережі для визначення меж зон недостатнього напору. Обґрунтуванні вибору сучасних методів, розробка техніко-економічних показників при будівництві системи теплопостачання та гарячого водопостачання за допомогою передових технологій та методів у порівнянні з традиційними способами.

Практичне значення отриманих результатів. Проведені дослідження дозволяють проєктним відділам комунальних підприємств на стадії проєктування визначити найбільш економічний варіант трасування мережі,

встановити проблемні ділянки при її експлуатації та обладнати їх контролюючим устаткуванням. Здійснено аналіз та обґрунтування найбільш ефективних методів безтраншейних технологій ремонту, відновлення та будівництва нових водопровідних мереж, які скорочує тривалість виробництва робіт і необхідні людські ресурси, підвищує безпеку робіт.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні положення роботи докладалися в 2024 році на XVII університетьської науково-практичної конфренції «Молода наука–2024» (Запоріжжя, 2024 р.); III міжнародній науково-практичної інтернет-конференції «Зелене будівництво» (Київ, 2024р.); міжнародній науково-практичної конференції «Інженерні інновації та розбудова національної економіки» (Запоріжжя, 2024 р.) за результатами яких опубліковано збірники тез доповідей.

Структура й обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 3 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 35 найменування. Робота викладена на 85 сторінках, містить 9 таблиці, 12 рисунків.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕРЕЖ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ З УРАХУВАННЯМ ЇХ НАДІЙНОСТІ

1.1 Аналіз стану водопровідних мереж в умовах війни

Надійність роботи водопровідної мережі є ключовим показником ефективності системи водопостачання. Вона залежить від таких факторів, як вибір матеріалу труб, їх діаметр, міцність з'єднань, вплив зовнішніх динамічних і статичних навантажень, а також наявність резервних елементів, які закладаються на етапі проєктування.

Згідно із даними [6] в Україні всього лише 9% мереж водопостачання не є аварійними, їх термін експлуатації не перевищує 25 років. На рис.1.1 наведена діаграма, що характеризує загальний рівень аваріності водопровідних мереж.

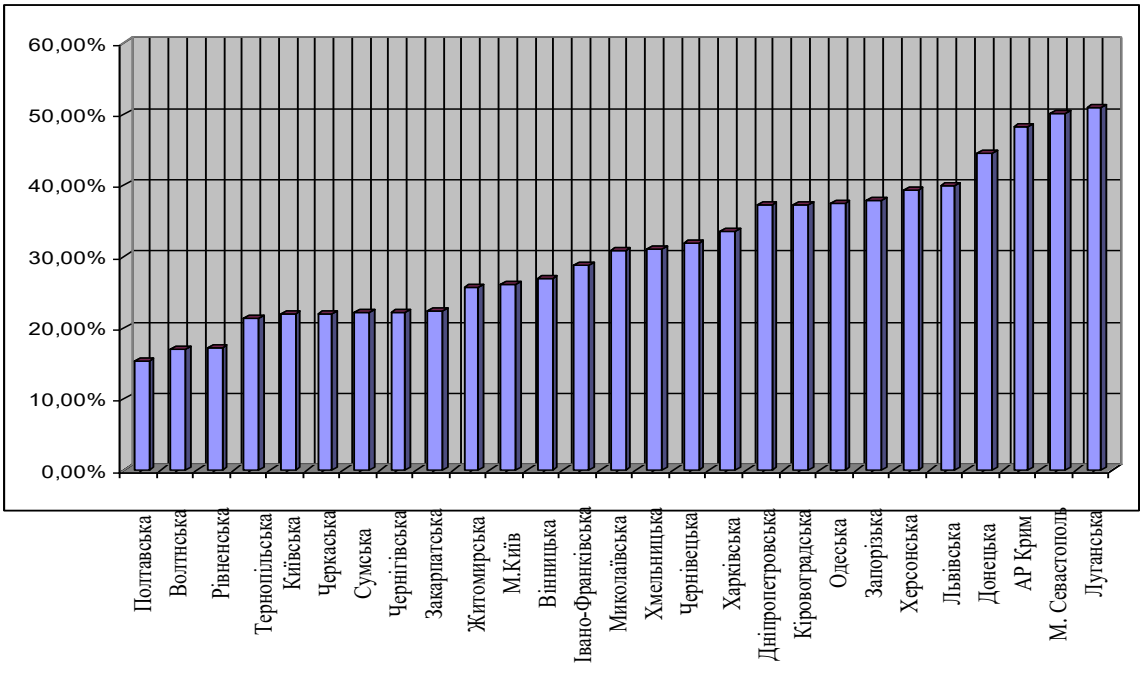


Рисунок.1.1 - Рівень аварійності водопровідних мереж

Вторгнення Російської Федерації в Україну, яке розпочалося 24 лютого 2022 року, призвело до значних жертв серед цивільного населення та пошкодження інфраструктури, завдавши серйозної людської, соціальної та економічної шкоди. Внаслідок війни, яка триває понад сімнадцять місяців, житлові приміщення та громадська інфраструктура були зруйновані та пошкоджені, громадські послуги та економічна діяльність зазнали перешкод у роботі, а значна кількість українців були переміщені зі своїх домівок[19].

З урахуванням наслідків війни завдана шкода секторам, охоплених RDNA, оцінюється на рівні близько 97 мільярдів доларів США (рис 1.2). Найбільше постраждали житловий сектор (40 відсотків від загального обсягу завданої шкоди), транспорт (31 відсоток), торгівля та промисловість (10 відсотків). Найбільш постраждалими є Донецька, Луганська та Харківська області, за ними йдуть Київська, Чернігівська та Запорізька[19].



Рисунок 1.2 - Загальний обсяг завданої шкоди станом на 1 червня 2022 року

Загальні збитки становлять майже 252 мільярди доларів США (рис1.3), зазначаючи, що втрати в одному секторі перетікають далі та перетинаються з іншими секторами.



Рисунок 1.3 -Загальний обсяг збитків станом на 1 червня 2022 року

За оцінками Міністерства з розвитку громад і територій України (Мінрегіон) до війни доступ до централізованого водопостачання мали 70 відсотків жителів країни, а доступ до послуг з централізованого водовідведення і водоочищення – близько 50 відсотків. Для такої країни як Україна, яка прагне гармонізувати національні вимоги в секторі СВВ з вимогами Водних Директив ЄС, такий рівень послуг СВВ є відносно низьким; приблизно 10 мільйонів осіб не мають доступу до надійних послуг з водопостачання, а 20 мільйонів позбавлені доступу до послуг з централізованого збору та очищення стічних вод. В доступності водопровідного постачання існує суттєва нерівність між міськими і сільськими регіонами (80 відсотків в містах проти з 34 відсотків в сільській місцевості), так само як і з доступом до змивних туалетів (86 відсотків проти 26 відсотків) та до каналізаційних відводів (75 і 8 відсотків відповідно) [19].

На початку 2000-х років країна розробляла національний план стратегії для сфери водопостачання і водовідведення, який не був ані схвалений, ані реалізований. За цим стратегічним планом потреби в інвестиціях у сектор для забезпечення операційної безпеки систем водопостачання і водовідведення

України оцінювалися в розмірі 4.3-6.5 мільярда доларів США (4-6 мільярдів євро), а досягнення міжнародних стандартів у наданні зазначених послуг потребувало 23.8–28.1 мільярда доларів США (22-26 мільярдів євро). Відтоді жодної деталізованої загальнодержавної оцінки або генерального планування для оновлення цих розрахунків не проводилося. Однак, той факт, що протягом тридцяти і більше років комунальні підприємства СВВ страждали від недостатнього інвестування, а ця ситуація продовжується і донині, коли лише 8 відсотків витрат СВВ спрямовуються на інвестиції, дає змогу припустити, що потреби напередодні війни були навіть більш суттєвими аніж ті, що за оцінками визначалися для стратегічного плану[19].

За інформацією від Мінрегіону, станом на 1 червня найбільш постраждалою інфраструктурою були мережі водопостачання (31 відсоток), мережі збору стічних вод (28 відсотків), водоочисні споруди (18 відсотків), і станції очищення питної води (10 відсотків). Мережі переважно знаходяться під дорогами, які зазнали значних руйнувань під час війни, а очисні споруди розташовані на поверхні, і тому є легкою ціллю.

Втрати води в комунальному господарстві до початку вторгнення російської федерації в внаслідок аварійності комунікацій за останні роки збільшилися майже в 2,5 разу, тоді як використання води для комунальних потреб скоротилося на 10 %. В містах і приміських зонах втрачається щорічно мільярд кубометрів води [10, 26].

1.2 Моделювання систем транспортування води

Як вказано в роботах більшості сучасних дослідників діючих СПРВ, основою найбільш перспективних напрямків вдосконалення СПРВ є моделювання їх стану і роботи. Особливе значення це має в умовах застосування енергозберігаючих технологій. На сьогоднішній день відомо

ряд методик побудови моделей СПРВ. Теоретичні розробки в цьому напрямку, особливо з метою прогнозування і оптимізації в умовах зміни їх параметрів, неможна вважати завершеними. Складність побудови моделі СПРВ зумовлена змінами і неточністю вихідної інформації. Так, крім складної структури навіть невеликих СПРВ, потрібно враховувати імовірний характер водоспоживання. Наприклад, коливання напорів у вузлах може змінюватись у досить широких межах. Це вимагає ідентифікації вихідних даних, що відображається як при побудові моделі, та к і при пошуку оптимальних рішень її вдосконалення. Але навіть за наявності повної і достовірної інформації про роботу СПРВ побудова повністю адекватної її моделі є важкою у виконанні математичною задачею. При цьому сама модель виявиться практично непридатною через свої великі розміри, технічні складності отримання та обробки вихідної інформації навіть на сучасних ЕОМ [1,6]. Тому, залежно від задач, що вирішуються, і наявної інформації, як модель приймається еквівалентна схема, адекватна фактичній СПРВ тільки в мірі, необхідній для досягнення поставленої мети [6, 7].

У загальному вигляді математичну модель СПРВ потрібно розглядати як систему лінійних і нелінійних рівнянь, що описують залежності, між робочими параметрами і конструктивними характеристиками окремих елементів СПРВ. Вона повинна включати такі основні підсистеми рівнянь [7, 8]:

1. $h=f(q, d, l, мм, K_s)$, n – нелінійних рівнянь;
2. $П_{вуз} = П_{вуз\text{-}1_+_} h_{вуз_вуз\text{-}1}$, b-1 – лінійних рівнянь;
3. $\sum q_{i\,-}\, q_{вуз} = 0$, b – лінійних рівнянь; (1.1)
4. $H_{вуз} = П_{вуз} - Z_{з.вуз}$, b – лінійних рівнянь;
5. $Q_{вуз}=f(H_{вуз}, S_{вуз})$, b – лінійних рівнянь;
6. $П_{НС}=f(Q_{НС,} S_{НС})$, $C_{НС}$ -нелінійних рівнянь;
7. $П_{НС}=f(Q_{НРС,} S_{НРС})$, $C_{НРС}$ - нелінійних рівнянь;
8. модельні рівняння для змін режимів водопостачання, вартості трубопроводів і споруд тощо…,

де h , q, d, l, мm, K_s- втрати напору, витрата води, діаметр, довжина, матеріал труб, коефіцієнт збільшення їх гідравлічного опору для кожної із nділянок (мережі, водопроводів та фіктивних, що моделюють окремі елементи СПРВ);

$П_{ВУЗ}$ *і* $П_{ВУЗ-1}$ – п'єзометричні позначки в даному і сусідньому вузлі,що з'єднуються ділянкою із втратами напорів$H_{ВУЗ_ВУЗ-1}$,

q_i і $q_{вуз}$ – витрата води на і-й ділянці, що прилягає до даного вузла, та вузлова витрата;

$H_{ВУЗ,}Z_{вуз}$ і$S_{вуз}$ – вільний напір, позначка землі у вузлі та його«опір»;

$П_{НС}$ ($П_{НРС}$), $Q_{НС}$ ($Q_{НРС}$) і $S_{НС}$($S_{НС}$) – п'єзометричні позначки, витрати води і гідравлічні опори для насосних станцій (напірно-регулювальних споруд);

n, b,$C_{НС,}C_{НРС}$ – загальна кількість у моделі СПРВ ділянок, вузлів, насосних станцій, напірно-регулювальних споруд тощо.

Модель СПРВ розглядають як кінцевий зв'язний орієнтований граф, тобто кожний вузол (вершина графа) зв'язаний з іншими хоча б однією ділянкою (ребром) з визначеним напрямом руху води на ній [6].

Згідно з [6] оптимізаційні моделі СПРВ можна поділити на проектні та управлінські. У проектних визначають оптимальні розміри окремих елементів СПРВ при їх новому будівництві чи реконструкції. Управлінські призначені для оптимізації робочих параметрів діючих СПРВ із встановленими характеристиками елементів при зміні режимів водоспоживання, різних аварійних ситуаціях. Існують управлінські моделі, що ідентифікують характеристики за результатами вимірювань окремих робочих параметрів. Це моделі, що дозволяють уточнювати гідравлічні опори трубопроводів за результатами манометричної зйомки. Їх доцільно застосувати при автоматизованому управлінні роботою СПРВ.

Для інтенсифікації роботи водопровідних мереж важливе значення мають додаткові модельні рівняння, що дозволяють прогнозувати зміну параметрів у процесі експлуатації: зміну гідравлічних опорів трубопроводів у

процесі експлуатації, показники надійності та економічності роботи СПРВ.

Зазначені теоретичні рекомендації дозволяють складати математичні моделі водопровідних мереж при їх проєктуванні та прораховувати імовірні режими їх роботи.

1.3 Аналіз динаміки робочих параметрів мереж в процесі експлуатації

Для врахування зміни гідравлічних опорів трубопроводів у процесі експлуатації пропонують різні підходи. П.Д. Хоружий [22], зокрема, для виконання техніко-економічних розрахунків СПРВ пропонує формулу

$$H=h_0\times (1=p\times t) \qquad (1.2)$$

де h_0 - втрати напору на тертя по довжині в початковий період експлуатації трубопроводу, м;

Р - коефіцієнт, що враховує додаткові втрати напору у зв'язку зі зміною гідравлічних характеристик труб у часі і залежить від матеріалу, діаметра труб та якості води, 1/рік;

t- час від початку експлуатації трубопроводу в межах його строку служби, рік.

В.А. Петросов за даними натурних спостережень на Харківському водопроводі для сталевих водоводів великих діаметрів отримав емпіричну залежність для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя [28].

$$\gamma = \left(a1 + \left(\frac{b1}{\mathrm{Re}} \right) \times 1.5 \right) \times e \cdot a2 + b_2 \times \Delta \ , \qquad (1.3)$$

де, a1,b1, a2, b2–коефіцієнти регресії:a1+0,055; в1+46500; $a2 \pm 1{,}035$; в2+71,99;

Δ–відносна шорсткість трубопроводу.

Раніше автор отримав залежності, що враховують коефіцієнти

збільшення гідравлічних опорів сталевих і чавунних труд у процесі експлуатації

$$K_s = K_1 \times \left(1 - \frac{a_1 \cdot K_1 \cdot b_1}{d_p}\right) \cdot b_2 \qquad (1.4)$$

де K_1 – коефіцієнт, що враховує збільшення гідравлічного опору за рахунок росту шорсткості стінок труб і визначається за формулою 1.7;

d_p– розрахунковий внутрішній діаметр труб;

a_1,b_1, b_2 – коефіцієнт і показники степеня, які залежать від характеру шорсткості стінок труб; для корозійних відкладень на їх внутрішній поверхні вони в середньому становлять: a_1=4,0,b_1= 0.33; b_2 =-2.5.

$$K1=1+a_2 \times \lg(1+T) \qquad (1.5)$$

де a_2 - коефіцієнт, що враховує вплив основних факторів на збільшення гідравлічних опорів: якості води; матеріалу труб чи ступеня його захисту від корозії; умов експлуатації;

T - тривалість експлуатації, роки.

Ці залежності рекомендовано використовувати у формулах виду

$$i=\frac{k * Ks * qb}{dm} \qquad (1.6)$$

де *i* - гідравлічний ухил;

k, b та м - коефіцієнт та показники степеня, які залежать від матеріалу труб і приймаються за даними;

d – розрахунковий внутрішній діаметр нових труб,м,

q – розрахункові витрати води, м^3\с.

Числові значення параметрів, що входять у формулу 1.8 для сталевих і чавунних труб, які мають корозійні відкладення на своїй внутрішні поверхні, приймають відповідно до результатів досліджень діючих трубопроводів [6,7].

Формули 1.6 і 1.7 є універсальними і точнішими, ніж 1.4 та 1.5, враховують основні процеси росту гідравлічних опорів, адекватно описують їх збільшення в часі, що підтверджують пізніші наші дослідження та інших

авторів. Однак вони дещо громіздкі і потребують коректування та оцінки точності щодо придатності для математичного аналізу при оптимізаційних розрахунках.

1.4 Аналіз стану мереж транспортування води в Україні

Розгалужене і потужне водопровідно-каналізаційне господарство України зараз переживає нелегкі часи. Загальна протяжність водопровідних мереж складає 127,4 тис. км, з яких 37,6 тис. км з них (35 %) знаходяться в аварійному стані і вимагають заміни. З них аварійними є 11,6 тис. км або 31 %. Щодоби в 454 міста і 783 селища міського типу країни подається близько 7,7 млн. м3 питної води і очищається близько 6,7 млн. $м^3$ стічних вод. Якщо розглянути об'єми роботи в цифрах, то в 2005 році підприємства водопровідно-каналізаційного господарства реалізували населенню близько 1,7 млрд. $м^3$ води. Через очисні споруди пропущені 1,4 млрд. кубометрів стоків. Середньодобове споживання питної води в Україні складає 320 літрів на одного жителя. Але відомо, що значний відсоток підготовленої води втрачається в мережах на шляху до громадян. Об'єми втрат перевищують 30 %, а в окремих випадках досягають 60 % поданої в систему води [6].

Втрати води в комунальному господарстві за останні роки збільшилися майже в 2,5 разу, тоді як використання води для комунальних потреб скоротилося на 10 %. В містах і приміських зонах втрачається щорічно мільярд кубометрів води.

Крім того, аварійні водопроводи - одна з причин поширення інфекцій. Споживання неякісної води провокує хвороби шлунку, кишечника, жовчовивідних шляхів. Зараз ці хвороби стають хронічними значно раніше, ніж 30 років тому. 25 відсотків дітей вже в семирічному віці страждають від

хронічних гастритів, холангітів, холецеститов. Парадокс - у водорозподільні системи населених пунктів подається очищена і така, що відповідає ДСТУ вода, а споживачі отримують воду вже в житлах не просто неякісну, а потенційно небезпечну для їх здоров'я [6].

Сьогодні у світі відомі близько 25 млн. хімічних сполук, щорічно внаслідок бурхливого розвитку науки в довкілля потрапляє ще до 1,5 млн. нових з'єднань. Це означає, що навіть проведений на високому рівне аналіз якості води не дасть відповіді на питання, чи годиться вона для питва або ні. Відбувається трансформація хімічних сполук, вони взаємодіють між собою, утворюючи принципово нові форми з новими властивостями. Іноді відносно безпечні хімічні речовини разом можуть складати токсичні компоненти. Передбачати, що може статися, неможливо. Усі традиційні підходи знезараження води у світі недосконалі. Хлорування використати не можна: з отрути отримати хорошу питну воду принципово неможливо - з одного малотоксичного стану переходить в інший, над токсичний.

Централізованим водопостачанням охоплено не більше 75% населення України. По цьому показнику ми одні з останніх(36-е місце) в Європі. З 47 млн. громадян України централізованим водопостачанням користується близько 30-35 млн., водою з колодязів - 11 млн., а понад 800 тис. чоловік(це 1200 сів 13 південних і східних областей країни) вимушені споживати виключно привозну воду небезпечну для здоров'я. Посилює ситуацію і низький рівень забезпеченості населених пунктів цент-реалізованої каналізацією(відповідні мережі є в 94% міст, 57% селищ міського типу і усього 3% сіл).

Із-за критичного стану наших водопроводу понад 12% проби питної води не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам, а понад 5% - бактеріологічним. І це притому, що сьогодні жодна з санітарно-епідеміологічних установ країни не може протестувати воду по всьому переліку нормативної бази (в Україні здійснюють контроль тільки по 54 показникам замість 100, які рекомендує ВООЗ, або 150, прийнятих в Європі).

Особливу тривогу викликає ситуація з водою в сільській місцевості. Централізоване водопостачання є тільки в 25% сів, причому майже третина сільських водопроводів взагалі не має права функціонувати через відсутність санітарної охорони, комплексу очисних споруд і установок для знезараження. Тому в сільській місцевості в середньому близько 20% проб не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам, а більше 7% - бактеріологічним. Якість води з джерел децентралізованого водопостачання не витримує ніякої критики. Інтенсивне використання мінеральних добрив в сільському господарстві - головна причина забруднення підземних горизонтів і поверхневих водойм, куди з сільськогосподарських угідь щорічно потрапляє 11 млн. т гумусу, 0,4 млн. т фосфору, 7 млн. т калію і тому подібне[6,11].

Нинішній стан ВКХ - це, по суті, розплата за безгосподарність, далекоглядність і надмірне захоплення сталевими трубами в недалекому минулому. Відомо, наприклад, що ще в 1990-му - колишній СРСР гордився лідерством у виробництві і споживанні сталевих труб, кількісні показники якого перевищували сумарну доля всього іншого світу. Не дивно, що саме ці труби складають сьогодні основу діючих інженерних мереж вітчизняного ВКХ, адже їх протяжність разом з меліоративними, відомчими і іншими трубопроводами - близько 300 тис. км. Взявши до відома, що середній термін нормальної експлуатації сталевого трубопроводу - 10-15 років, не важко уявити собі їх нинішній стан. Принаймні, спеціалісти вважають, що близько 60% усіх комунальних мереж України вже вичерпали свій амортизаційний термін і вимагають ремонту або заміни. Зрозуміло, що існують це одночасно - «непідйомне» для держави справа, А звідси - майже все наші водопровідно-каналізаційні проблеми.

По-перше, якість питної води, що постійно погіршується, з систем централізованого водопостачання. Знаючи про схильність сталевих трубопроводів швидко кородує заростати і «створювати умови» бактеріям, не складно догадатися, чому прогресує така небезпечна тенденція. Відповідь однозначна: втрата якості питної води відбувається, головним чином, під час

її транспортування по «трубопроводах», і те, що з однієї водоочисної станції різні споживачі частенько отримують дуже різну воду - зайве підтвердження сказаному[6,11].

Ще небезпечніші і непередбачувані наслідки зумовлені переривчастим характером централізованої водо подачі (56,3% українських міст з населенням понад 100 тис. чоловік споживає воду по графіку, а Україна в цілому п'є воду =19 з 24 годин на добу). Вакуум, який утворюється в трубопроводах при перервах подання води, через наскрізну нещільність засмоктує всередину навколишній грунт і ґрунтові води, а з ними - з'єднання важких металів і інших хімічних речовин. Таким чином, зводиться нанівець робота багаточисельних фільтраційних споруд на станціях водо підготовки, тобто - відбувається грандіозне марнотратство на шкоду людському здоров'ю. Адже вода, як встановили учені, безпосередньо впливає на структуру ДНК людини, стан якої визначає тривалість життя. І якщо людина впродовж тривалого часу вживає воду, що містить шкідливі речовини, їх негативна дія неминуче позначиться на здоров'ї послідующих поколінь.

Склалася парадоксальна ситуація: ми говоримо про погіршення якості питної води, загрозливої масштаби забруднення джерел, і в той же час констатуємо, що кількість промислових скидань за останнє десятиліття-півтора зменшилося (колишні гіганти індустрії простоюють), а очисні споруди задіяні ледве на поло-провину їх проєктної потужності.

Найбільшими і запеклими забрудниками водних об'єктів є саме підприємства нашого «хворого» житлово-комунального господарства, і чим більше вони деградують - тим сильніше позначається це на природі і людях. За попередніми підрахунками, близько 40 водопровідних очисних споруд країни вимагають сьогодні модернізації. Поки ж їх експлуатація нагадує щоденне катання багатолюдним містом на важкому грузовику: можна, але складно, незручно, невигідно. Для наочності уявимо величезний резервуар з очищеною водою, яку раніше споживали за 2-3 дні, а тепер - за місяць, Про яку якість води можна говорити під кінець цього періоду? Те ж саме -

«прив'язані» до нього трубопроводи дуже великих діаметрів, де розрахункова швидкість подання води складала колись 1 м/сек. Проте, нещодавно проведенні в них виміри здатні приголомшити кого завгодно, адже гідравлічна швидкість тепер - 0,5 мм/сек., тобто - в 2000 разів менше за проектну. Коли ж дійде до споживача ця стояча, по суті, вода і чи доречна буде взагалі оцінка її якості?

Втім, якість питної води - важлива, але не єдина проблема галузі. Останнім часом їх кількість все частіше поповнюють загрози екологічного характеру - зокрема, підтоплення земель. Безумовно, позначаються тут огріхи промисловості(особливо - закриття гірничодобувних підприємств методом їх «мокрої» консервації), сільського господарства(занедбаність «колгоспних» систем дренажу) та ін. антропогенні чинники. Але перший і головний з них - постійне збільшення втрат води при її транспортуванні до споживача. Тільки у комунальних системах централізованого водопостачання Україна в середньому «офіційно» втрачає 31% вже підготовленої, очищеної питної води. Адже є ж і такі «славні» міста, де втрати води складають 60-70%. При таких втратах тільки завищені нормативи можуть гарантувати, що до споживача дійде хоч би необхідний європейський мінімум. Втрачена вода не повертається прямо в доступні поверхневі джерела, звідки ми її переважно беремо(щорічна огорожа в Україні складає 12,3% ресурсів річкового стоку, тоді як 10% -а огорожа є критичною рисою, перевищення якої порушує процеси самовідновлення водних екосистем). Вона поповнює підземні води, які наше комунальне господарство в силу фінансово-економічних міркувань використовує якраз недостатньо(не більше 20-30% ресурсу). В результаті такого господарювання в деяких місцях учені фіксують середньорічне підвищення рівня ґрунтових вод на 0,3-0,5 м, а цілі населені пункти і регіони центральної України вже зараз починає підтоплювати [25].

1.5 Аналіз стану мереж транспортування води в Запоріжжі

Запорізьке державне комунальне підприємство «ВОДОКАНАЛ» - одне із старих в місті - відмітило в 1994 році свій 100-річний ювілей. Окрім обласного центру з його майже мільйонним населенням і великою кількістю великих підприємств важкої індустрії, складний комплекс господарства забезпечує питною водою ще 4 сільські райони. Щодоби дві Дніпровські водопровідні станції(ДВС-1 і ДВС-2), що структурно входять до його складу, готують і подають споживачам до 500 тис. кубометрів питної води, а центральні очисні споруди Лівого і Правого берега(ЦОС-1 і ЦОС-2) очищають до 400 тис. кубометрів господарче-побутових стоків.

Загальна протяжність водопроводу і каналізаційних мереж складає три тисячі кілометрів, з яких водопровідна мережа-1900 км. [25].

Міра зношеності водопровідних труб Запоріжжя перевищує 60 %, а чавунні «старійшини» в старій частині міста досі служать йому з 1926 року.

Кожен житель Запоріжжя, згідно встановлених міськвиконкомом норм, нібито щодоби споживає 260 л холодної питної води(хоча за європейськими стандартами одному городянинові цілком вистачає і 150). У перерахунку на мільйонне населення це складає 260 тис. кубометрів. Ще 73 тис. споживає промисловість, аграрний сектор, бюджетні організації. Разом - 333 тис. кубів. Але Водоканал твердить, що подає 400-500 тис., а це означає, що щодоби «пропадає» казна-де від 67 до 167 тис, кубометрів води - норма споживання великого європейського міста. Очевидно - втрати води колосальні, що веде до дуже проблемних наслідків в системах ЖКГ. Витоки води, ГВС, централізованого опалювання і каналізації «підмочують» фундаменти житлових будинків, що відбивається не лише на конструкціях будівель, але і на тих же комунікаціях. Як наслідок - прискорення аварійних процесів. Та ж ситуація і стосовно внутрішніх систем водопостачання і водовідведення. В основному інженерні комунікації прокладені по підлозі і стінам підвалів

житлових будинків і, знаходячись в аварійному стані, не лише провокують опади будівель і ушкодження комунікацій, але і створюють реальну загрозу спалахів різних інфекційних захворювань внаслідок попадання фекальних вод в діряві трубопроводи подання питної води.

Звичайно ж, не доводиться списувати такі об'єми тільки на витоки, бо в цьому випадку Запоріжжя давно перетворилося б на Венецію. Велику роль в такій різниці грає система обліку споживання води, яка досить нова, діє не більше 10 років, вживана техніка - цілком сучасна. Але для того, щоб повністю контролювати розподіл води, відстежувати і оперативне усувати її витоки, потрібні в 10-20 разів більше таких приладів [25].

Як видно з короткого огляду технічного стану мереж водопостачання та водовідведення Запоріжжя - украй потрібна серйозна реконструкція систем і впровадження сучасних приладів обліку витрати.

У 1999-му Запоріжжю був виділений кредит Європейського Банку Реконструкції і Розвитку на суму 28 млн доларів. Програма ЄБРР була спрямована, в першу чергу, на поліпшення екологічного стану басейну річки Дніпро, яке істотно погіршало після чорнобильської катастрофи 1986 року.

Спочатку Кредитною угодою була обумовлена тільки закупівля поліетиленових труб, необхідних для заміни 60-65 км але ні відповідного устаткування, ні досвіду роботи з новими матеріалами запорожці не мали.

Першу запорізьку лінію з поліетилену протяжністю 2 км і діаметром 120-150 мм, що в правобережному житломасиве Бабурка. А роком пізніше у разі єдиного застосування методу протягання при відновленні залізобетонного каналізаційного колекторе в Хортицькому мікрорайоні використовувалися труби із скловолокна, армованого епоксидною смолою. Тому на гроші виділеного кредиту було відновлено близько 30 км водопроводу.

У іншому, як відомо, бурхливі роботи по заявленій спочатку реконструкції мереж помічено не було.

Проблеми, пов'язані з незадовільним станом усієї водопостачальної системи, що водовідведення, тільки примножуються, а застосування полімерних трубопроводів у будівництві водоводів розвивається Водоканалом украй повільно [6, 25].

У вищесказаному не важко помітити, що проблеми стоять перед нашим містом відносно стану інженерних комунікацій, в принципі, ті ж, що властиві і усій Україні. Зрозуміло, і виведення слідують ті ж: життєве потрібна капітальна реконструкція існуючих мереж або будівництво нових, але із застосуванням матеріалів і технологій, які істотно збільшать термін їх служби і надійність.

Такі матеріали і технології в Україні застосовуються вже не перший рік, але є сенс представити як найповніший аналітичний огляд усього ринку цієї продукції з практичними прикладами застосування і наведенням техніко-економічних показників, порівнянь різних матеріалів і технологій, при особливій актуальності на сьогодні даних проблем в масштабі усієї країни.

2 АНАЛІЗ РОБОТИ ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ

2.1 Мета і задачі дослідження

Мета роботи: оцінити вплив окремих ділянок водопровідної мережі на надійність її роботи при нормальних та аварійних режимах.

Задачі, які треба вирішити для досягнення мети:

- розробка розрахункових схем мережі, які необхідно дослідити;
- виконання гідравлічних розрахунків при нормальній роботі водопровідної мережі;
- моделювання можливих аварійних ситуацій;
- виконання гідравлічних розрахунків при аварійних режимах роботи;
- аналізи сумісної роботи насосних станцій і мереж при різних режимах;
- визначення площі зон недостатніх напорів при аварійних режимах роботи;
- розрахунок та аналіз техніко-економічних показників різних мереж;
- висновки.

2.2 Формування вихідних даних

Об’єкт дослідження- схеми кільцевих водопровідних мереж міста з площею 864 га. Місто знаходиться на позначці 45 м. Максимальна добова витрата в місті 150000 $м^3$/добу. Максимальний коефіцієнт годинної нерівномірності К=1,35. Необхідний напір у невигідній точці 42 м. Довжина водоводів від насосної станції другого підйому 6 км. В схемі мережі відсутня

водонапірна башта. Регулювання подачі води здійснюється резервуарами біля насосної станції та застосуванням електродвигунів з регулюванням кількості обертів.

Структурні схеми вихідних водопровідних мереж представлено на листі №1 графічної частини роботи: схема №1 складається з 10 кілець, 18 вузлів та 27 ділянок; схема №2 – із 8 кілець, 15 вузлів та 22 ділянок.

Схеми вихідних мереж відрізняються кількістю ділянок та кількістю кілець, ця відміна забезпечується влаштуванням перемичок між магістралями. В цих схемах мереж довжина ділянок зменшується на їх початку мережі та збільшується в кінці мереж.

2.3 Методика дослідження

Аналіз роботи водопровідної мережі в аварійних умовах роботи було проведено за наступною методикою:

- виконання гідравлічного розрахунку для вихідних мереж за схемами №1 та №2;
- визначення п’єзометричних позначок у вузлах мереж за схемами №1 та №2 за результатами гідравлічного розрахунку;
- моделювання 10 аварійних режимів роботи для мережі за схемою №1: 1) ділянки 1 і 3; 2) ділянка 16; 3) 19; 4) ділянки 25, 26, 27; 5) ділянки 25 і 11; 6)ділянка 4; 7) ділянка 17; 8) ділянка 20; 9) ділянка 23; 10)ділянка 26;
- моделювання 8 аварійних режимів для мережі за схемою №2: 1) ділянки 1 та 11; 2)ділянка 14; 3) ділянка 17; 4) ділянка 20; 5) ділянка 12; 6) ділянка 15; 7) ділянка 18; 8) ділянка 21;
- виконання гідравлічних розрахунків для кожного варіанту моделювання аварійного режиму;

- визначення вільних напорів у вузлах мережі відносно точки підключення водоводів для кожного варіанту моделювання аварійного режиму;
- визначення розташування та площі зон недостатнього напору в аварійних режимах роботи;
- аналіз техніко-економічних показників роботи мережі за схемами №1 та №2.

2.4 Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі за схемою №1

2.4.1 Режим водоспоживання

Витрата води для кожної години доби визначається за формулою:

$$Q_i = \frac{P_i \cdot Q_{доб.макс}}{100}, \quad (2.1)$$

де P_i - значення і-ої годинної витрати, %;

$Q_{доб.макс}$ - максимальна добова витрата, $Q_{доб.макс} = 150000 м^3 / добу$.

Результати розрахунків представлені у табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Розподіл витрат води за годинами доби

Години доби	Водоспоживання	
	%	$м^3$
1	2	3
0..1	3	4500
1..2	3,2	4800
2..3	2,5	3750
3..4	2,6	3900
4..5	3,5	5250
5..6	4,1	6150

продовження таблиці 2.1

1	2	3
6..7	4,5	6750
7..8	4,9	7350
8..9	4,9	7350
9..10	5,6	8400
10..11	4,9	7350
11..12	4,7	7050
12..13	4,4	6600
13..14	4,1	6150
14..15	4,1	6150
15..16	4,4	6600
16..17	4,3	6450
17..18	4,1	6150
18..19	4,5	6750
19..20	4,5	6750
20..21	4,5	6750
21..22	4,8	7200
22..23	4,6	6900
23..24	3,3	4950
Разом	100	150000

За результатами розрахунку побудовано ступеневий графік погодинного водоспоживання міста (рис.2.1).

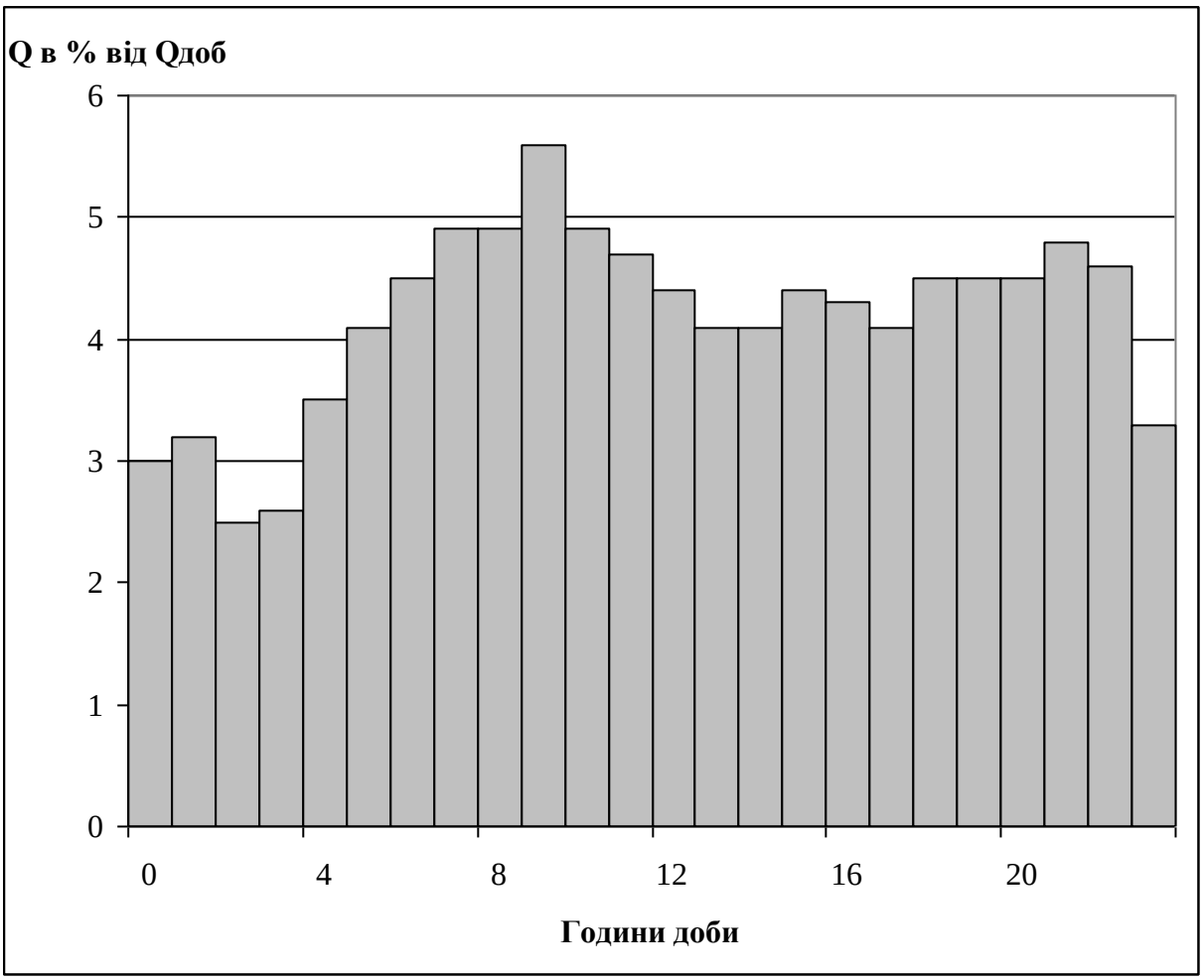


Рисунок 2.1 – Ступеневий графік водоспоживання

2.4.2 Вибір режиму роботи насосної станції другого підйому та визначення ємностей регулюючих резервуарів

Режим роботи насосної станції другого підйому прийнято за ступеневим графіком погодинного водоспоживання міста з врахуванням максимального наближення режиму роботи насосної станції до режиму водоспоживання. Насосна станція другого підйому працює у двохступеневому режимі роботи. Продуктивність роботи ступеней призначено із забезпеченням умови:

$$\sum Q_i \cdot T_i = 100\%, \tag{2.2}$$

де Q_i – продуктивність роботи i-го ступеня;

T_i – час роботи i-го ступеня.

$$3.02 \cdot 6 + 4.55 \cdot 18 = 100\%.$$

Сумісний графік водоподачі і водоспоживання представлено на рис.2.1.

Згідно з прийнятим режимом роботи насосної станції визначено подачу одного насосного агрегату. Продуктивність першого ступеня роботи насосної станції забезпечується двома насосами, на другому ступені працюють три паралельно підключені насоси. Подача одного насосу визначено за формулою:

$$Q_н \approx (0.55 \ldots 0.6) \cdot Q_1, \tag{2.3}$$

де Q_1 – продуктивність найменшого ступеня насосної станції, $Q_1 = 3{,}02$.

$$Q_н = 0{,}55 \cdot 3{,}02 = 1{,}661\%,$$

$$Q_н = \frac{150000 \cdot 1{,}661\%}{100\%} = 2491{,}5 м^3 / год.$$

Визначаємо напір насосів за формулою:

$$H_н = П_р - Z_н + H_з, \tag{2.4}$$

де $П_р$ – розрахункова п'єзометрична позначка в місті;

$Z_н$ – позначка осі насосів, $Z_н = 35м$;

$H_з$ - запас на втрати напору в мережі та водоводах, $H_з \approx 15 \ldots 30м$.

П'єзометрична позначка в точці визначається за формулою:

$$П_i = Z_i + H_{івіл}, \tag{2.5}$$

де Z_i - відмітка поверхні землі в i-й точці;

$H_{івіл}$ - потрібний вільний напір в i-й точці.

$$П_р = 45 + 42 = 87;$$

$$H_н = 87 - 35 + 20 = 72м.$$

За робочими параметрами $Q_н = 2491{,}5 м^3 / год$ та $H_н = 72м$ підбираються насоси марки Д 3200 – 75 [6]. Продуктивність першого ступеня

забезпечується двома насосами, на другому ступені паралельно двом працюючим насосам підключається третій. Насоси марки Д 3200 – 75мають наступні характеристики [6]:

- подача $Q = 3060 м^3 / год$;
- напір $H = 75 м$;
- потужність $N = 650 кВт$;
- ККД насосу $\eta = 90\%$;
- діаметр робочого колеса $D = 765 мм$.

Визначається ємність резервуарів чистої води. Розрахунок зведено в табл.2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок регулюючої ємності РЧВ

Години доби	Витрата води НС, %	Подача води в РЧВ, %	Надходження у бак, %	Витрата з баку, %	Залишок у баці, %
0..1	3,02	4,17	1,15	0	1,15
1..2	3,02	4,17	1,15	0	2,3
2..3	3,02	4,16	1,14	0	3,44
3..4	3,01	4,17	1,16	0	4,6
4..5	3,01	4,17	1,16	0	**5,76**
5..6	4,55	4,16	0	0,39	5,37
6..7	4,55	4,17	0	0,38	4,99
7..8	4,55	4,17	0	0,38	4,61
8..9	4,55	4,16	0	0,39	4,22
9..10	4,55	4,17	0	0,38	3,84
10..11	4,55	4,17	0	0,38	3,46
11..12	4,55	4,16	0	0,39	3,07
12..13	4,55	4,17	0	0,38	2,69
13..14	4,55	4,17	0	0,38	2,31
14..15	4,55	4,16	0	0,39	1,92

15..16	4,55	4,17	0	0,38	1,54
16..17	4,55	4,17	0	0,38	1,16
17..18	4,55	4,16	0	0,39	0,77
18..19	4,55	4,17	0	0,38	0,39
19..20	4,55	4,17	0	0,38	0,01
20..21	4,55	4,16	0	0,39	-0,38
21..22	4,55	4,17	0	0,38	-0,76
22..23	4,55	4,17	0	0,38	-1,14
23..24	3,02	4,16	1,14	0	0
Разом	100	100	6,9	6,9	

Максимальний залишок у резервуарі складає $Q_{макс} = 5{,}76\%$, мінімальний - $Q_{мін} = -1{,}14\%$, а об'єм резервуару – $V_б = 6{,}9\%$ від $Q_{доб.макс}$, що становить $V_б = \frac{6{,}9\% \cdot 150000 м^3 / добу}{100\%} = 10350 м^3$.

Повний об'єм резервуарів чистої води визначається за формулою:

$$W_{РЧВ} = W_{рег} + W_{вп} + W_п, \tag{2.6}$$

де $W_{рег}$ - регулюючий об'єм РЧВ, $W_{рег} = 10350 м^3$;

$W_{вп}$ - запас води на власні потреби станції водопідготовки, $W_{вп} = 1000 м^3$;

$W_п$ - запас води на пожежегасіння:

$$W_п = 3{,}6 \cdot Q_н \cdot t + \sum Q_{см} - \frac{(4.17 \cdot Q_{макс.доб} \cdot t)}{100}, \tag{2.7}$$

$Q_н$ - повна розрахункова витрата води на пожежегасіння:

$$Q_н = 2 \cdot 35 + \frac{50}{100} \cdot 10 + 2 \cdot 2{,}5 = 80 л/с;$$

t - час гасіння пожежі, $t = 3 год$;

$\sum Q_{см}$ - витрата води за t суміжних годин максимального водоспоживання:

$$\sum Q_{см} = 7350 + 7350 + 8400 = 23100 м^3;$$

$Q_{макс.доб}$- витрата води в добу максимального водоспоживання,

$$Q_{макс.доб} = 150000 м^3 / доб.$$

$$W_n = 3{,}6 \cdot 80 \cdot 3 + 23100 - \frac{(4.17 \cdot 150000 \cdot 3)}{100} = 5199 м^3.$$

$$W_{РЧВ} = 10350 + 1000 + 5199 = 16549 м^3$$

2.4.3 Підготовка вихідних даних для розрахунку

Для виконання гідравлічного розрахунку визначені вузлові витрати, виконано початковий потокорозподіл та побудовані вихідні розрахункові схеми мережі №1.

Враховуючи, що довжина ділянок водопровідної мережі однакова, вузлові витрати прийнято пропорційно загальній витратіводи, що надходить до мережі:

$$q_{вузл} = \frac{1900}{18} = 105.5 л / с.$$

У вузлах 1 – 12 вузлова витрата складає 105 л/с, а у вузлах 13 – 18 – 106 л/с.

Попереднє визначення витрати на кожній ділянці призначено на основі вузлових витрат з дотриманням умови I закону Кірхгофа [6,7]:

$$\sum q_{і\text{-}к} - Q_{вуз} = 0, \qquad (2.8)$$

де $\sum q_{і\text{-}к}$ – сума витрат води на ділянках, які примикають до вузла, що розглядається;

$Q_{вуз}$ – вузлові відбори, л/с.

Початковий потокорозподіл в мережі з вузловими та зосередженими витратами приведено в додатку А.1.

Для визначення економічних діаметрів ділянок водопровідної мережі прийнята величина економічного фактору Е = 1 [6]. За цим економічним

фактором та наміченими витратами води визначені діаметри ділянок водопровідної мережі, які вказані на схемі мережі (додаток А.1).

2.4.4 Гідравлічна ув'язка водопровідної мережі за схемою № 1

Гідравлічну ув’язку виконано за програмою „Гідраст 1”. Вихідні дані записуються у файл Gidrast1.dat: точність розрахунку $e = 0{,}01$, загальна кількість кілець $nk = 10$ та ділянок $ny = 27$. У вихідних даних спочатку записується код ділянки, її довжина, витрата води, діаметр та матеріал труб.

Після введення всіх вихідних даних цей файл зберігається. Розрахунок виконується у файлі Gidrast1.exe. Результати цих розрахунків знаходяться у файлі Gidrast1.tab.

Результати гідравлічної ув’язки мережі за схемою №1 приведено в в графічній частині роботи (лист №2). Аналіз результатів розрахунків показав, що втрати напорів не дуже великі, тобто діаметри трубопроводів підібрано достатньо раціонально для тієї витрати води, що проходить по цих трубопроводах.

Після оформлення схеми перевіряється додержання умов ув’язки мережі за двома законами Кірхгофа [6]:

$$\sum q_{вузл} = 0; \tag{2.9}$$

$$\sum h_к \le 0{,}01. \tag{2.10}$$

Сума втрат напору в кільцях 1-10 відповідає умові (2.9).

2.4.5 Моделювання та розрахунок аварійних режимів за схемою №1

В роботі розглядались аварійні режими роботи мережі, при яких виходили з ладу ділянки з різною значимістю (п.2.3). Це були як початкові, роль яких значно більша, так і кінцеві ділянки мережі. Схеми аварійних мереж при моделюванні виходу з ладу окремих ділянок представлені в графічній частині роботи на листі №3. Вузлові витрати, довжина та діаметри трубопроводів залишаються таким ж. Потокорозподіл виконується знову, з урахуванням ділянки, куди не надходить вода. Результати початкового потокорозподілу при аварійних режимах 1-10 представлені в додатку А.2–А.12.

Гідравлічна ув'язка виконана згідно п.2.4.4. Результати гідравлічної ув'язки приведено в графічної частині. Розраховано суму втрат напорів в усіх кільцях мережі, вона знаходиться у межах умови (2.9).

2.4.6 Визначення п'єзометричних позначок та вільних напорів у вузлах мережі

Розрахунок п'єзометричних позначок для аварійних режимів виконано відносно точки підключення водоводів до мережі – тобто вузла № 1. п'єзометрична позначка в якому прийнята $П_1$=102,2 м (за результатами розрахунку мережі в нормальному режимі роботи – лист №2). Визначаються п'єзометричні позначки у всіх вузлах мережі та вільні напори в них безпосередньо на розрахунковій схемі мережі. На листі №3 графічної частини показані результати розрахунку п'єзометричних позначок у вузлах мережі для аварійних ситуацій 1 та 9 по схемі №1.

2.4.7 Розрахунок водогонів для водопровідної мережі за схемою № 1

Виконано розрахунок водогонів від насосної станції другого підйому до мережі. Кількість водогонів – 2, обидва – робочі. Водогони сталеві. Економічний фактор прийнято Е=1 [6]. Приймається діаметр водогонів $d = 1м$.

Втрати напору в водоводах визначаємо за формулою:

$$h_{пр} = 1.15 \cdot \delta \cdot S_0 \cdot l \cdot Q_в^2, \quad (2.11)$$

де δ - поправочний коефіцієнт, що враховує неквадратичність залежності втрат напору від середньої швидкості руху води:

$$\delta = 0{,}852 \cdot \left(1 + \frac{0{,}867}{v}\right)^{0.3}, \quad (2.12)$$

S_0 - питомий опір водогонів [18, табл.2].

l - довжина водоводів, $l = 6000м$.

Розрахунок характеристики водогонів зводиться у табл.2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок характеристики водогонів для мережі за схемою №1 для режиму максимального водоспоживання

Показник	Значення показників для $Q_п$					
	0	$0{,}25Q_в$	$0{,}5Q_в$	$0{,}75Q_в$	$Q_в$	$1{,}25Q_в$
Q, $м^3/с$	0	0,474	0,9479	1,4219	1,8958	12,3698
$h_{пр}$	0	0,86	2,99	6,31	10,78	16,41
S	4,228					
h	0	0,9499	3,7989	8,5482	15,1957	23,7442
$H_г$	54					
$H_п = H_г + h_{пр} + h$	54	55,81	60,79	68,86	79,98	94,15

2.4.8 Побудова сумісного графіку роботи насосів та водогонів

Для побудови графіку сумісної роботи насосів та водоводів при нормальній роботі та при аваріях було розглянуто два метода. Перший метод: необхідно визначити фіктивний опір мережі за формулою:

$$S_{ф} = \frac{\sum h}{Q^2}. \tag{2.13}$$

При відомій величині $S_{ф}$ можна знайти втрати тиску в мережі при зміні подачі, виходячи з залежності:

$$\sum h = S_{ф} \cdot Q_k^2 . \tag{2.14}$$

Розраховується характеристика для водоводів від насосної станції другого підйому до мережі за формулою:

$$H_n = H_г + h_{пр} + h, \tag{2.15}$$

де $H_г$ - геометрична висота підйому:

$$H_г = П - Z, \tag{2.16}$$

$П$ - п’єзометрична позначка у кінці мережі, м;

Z - позначка найнижчого рівня води у джерелі, приймаємо на 2м нижче вісі насосів, $Z = 33м$.

$$H_г = 87 - 33 = 54м.$$

При виникненні аварійних ситуацій розрахунок проводився аналогічно методиці, зазначеній у п.2.4. Незмінними залишаються діаметр водогонів, швидкість води, втрати напору в водоводах та геометрична висота підйому. Результати розрахунків приведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахунок характеристики водогонів для мережі за схемою №1 при аваріях 1 – 10

Аварії	Показник	Значення показників для $Q_п$				
		0	$0{,}25Q_в$	$0{,}5Q_в$	$0{,}75Q_в$	$Q_в$
	Q, $м^3/с$	0	0,474	0,9479	1,4219	1,8958
	$h_{пр}$	0	0,86	2,99	6,31	10,78
	$H_г$	54				
1	S	4,448				
	h	0	0,9994	3,9966	8,993	15,9864
	$H_п = H_г + h_{пр} + h$	54	55,86	60,99	69,3	80,77
2	S	4,657				
	h	0	1,0463	4,1844	9,4155	16,7375
	$H_п = H_г + h_{пр} + h$	54	55,91	61,17	69,73	81,52
3	S	4,924				
	h	0	1,1063	4,4243	9,9553	17,6971
	$H_п = H_г + h_{пр} + h$	54	55,97	61,41	70,27	82,48
4	S	5,719				
	h	0	1,2849	5,1386	11,5627	20,5544
	$H_п = H_г + h_{пр} + h$	54	56,14	62,13	71,87	85,33
5	S	5,964				
	h	0	1,34	5,3587	12,058	21,435
	$H_п = H_г + h_{пр} + h$	54	56,2	62,35	72,37	86,21
6	S	7,797				
	h	0	1,7518	7,0057	15,764	28,0229
	$H_п = H_г + h_{пр} + h$	54	56,61	64	76,07	92,8
7	S	6,137				
	h	0	1,3788	5,5142	12,4078	22,0567
	$H_п = H_г + h_{пр} + h$	54	56,24	62,5	72,72	86,84
8	S	7,911				
	h	0	1,7774	7,1081	15,9945	28,4326
	$H_п = H_г + h_{пр} + h$	54	56,64	64,1	76,3	93,21
9	S	10,907				
	h	0	2,4505	9,8001	22,0518	39,2004
	$H_п = H_г + h_{пр} + h$	54	56,44	63,29	74,49	90
10	S	6,685				
	h	0	1,502	6,0066	13,5157	24,0263
	$H_п = H_г + h_{пр} + h$	54	56,36	63	73,83	88,81

За результатами розрахунку таблиць побудовані сумісні графіки роботи насосів та водогонів, які представлено на рис. 2.2. Як видно з рисунку, при аваріях подача зменшується. Чисельні значення зменшення об'ємів води, що надходить в мережу при аварійних ситуаціях, показано в табл.2.5.

Основою для порівняння надійності забезпечення споживачів при використанні різних мереж послужила вимога [17], згідно з якою при будь-якій ситуації в системі подача не повинна зменшуватись більше, ніж на 30%.

Таблиця 2.5 – Зниження подачі при аварійних ситуаціях на мережі за схемою №1

№ аварійної ділянки	Напір, м	Подача при аварії		Зниження подачі	
		$м^3$/год	%	Абсолютне, $м^3$/год	Відносне, %
1	80,33	6765,69	99,13	59,31	0,87
2	80,44	6691,02	98,04	133,98	1,96
3	80,61	6591,34	96,58	233,66	3,42
4	81	6314,93	92,53	510,07	7,47
5	81,1	6236,3	91,37	588,7	8,63
6	81,71	5744,24	84,16	1080,76	15,84
7	81,16	6189,04	90,68	635,96	9,32
8	81,72	5726,37	83,90	1098,63	16,10
9	82,42	5127,88	75,13	1697,12	24,87
10	81,38	6037,73	88,46	787,27	11,54

Аналізуючи зниження подачі при аварійних ситуаціях, можна зробити висновок, що мережа за схемою №1 відповідає нормам [17]. Найбільше зниження подачі спостерігається при аварії на 9 ділянці й становить 24,87 %.

Подачу при аваріях на мережі за схемою №1 представлено також на діаграмах на рис.2.3.

2.5 Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі за схемою №2

Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі за схемою №2 виконується згідно п.2.4.4. Ця мережа складається з восьми кілець. Вузлові витрати дорівнюють:

$$q_{вузл} = \frac{1896}{15} = 126{,}4 л/с.$$

У вузлах 1 – 9 вузлова витрата складає 126 л/с, а у вузлах 10 – 15 – 127 л/с. Схеми початкового потокорозподілу вихідної схеми та при моделюванні аварійних ситуацій представлені в графічної частині. результати гідравлічного розрахунку вихідної схеми №2 – в графічної частині., результати гідравлічної ув'язки при аварійних ситуаціях- в графічної частині.

Розрахунок п'єзометричних позначок для аварійних режимів виконано відносно точки підключення водоводів до мережі №2 – тобто вузла № 2. п'єзометрична позначка в якому прийнята $П_1$=100,86 м (за результатами розрахунку мережі в нормальному режимі роботи – лист №2). Визначаються п'єзометричні позначки у всіх вузлах мережі та вільні напори в них безпосередньо на розрахунковій схемі мережі. На листі №3 графічної частини показані результати розрахунку п'єзометричних позначок у вузлах мережі для аварійних ситуацій 1 та 7 по схемі № 2.

2.6 Розрахунок водогонів водопровідної мережі за схемою №2

Водогони водопровідної мережі за схемою №2 залишаються такими ж, як і для мережі за схемою №1. Розрахунок характеристики водогонів зводиться у табл.2.6.

Таблиця 2.6 – Розрахунок характеристики водогонів для мережі М3 для режиму максимального водоспоживання

Показник	Значення показників для $Q_п$					
	0	$0,25Q_в$	$0,5Q_в$	$0,75Q_в$	$Q_в$	$1,25Q_в$
Q, м^3/с	0	0,474	0,9479	1,4219	1,8958	12,3698
$h_{пр}$	0	0,86	2,99	6,31	10,78	16,41
S	3,856					
h	0	0,8664	3,4647	7,7961	13,8587	21,6551
$H_г$	54					
$H_п = H_г + h_{пр} + h$	54	55,73	60,45	68,11	78,64	92,07

При виникненні аварій розрахунок проводиться аналогічно п.2.4.4. Діаметр водогонів, швидкість води, втрати напору в водоводах та геометрична висота підйому залишаються незмінними. Результати розрахунків приведено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Розрахунок характеристики водогонів для мережі за схемою №2 при аваріях 1 – 8

Аварії	Показник	Значення показників для $Q_п$				
		0	$0,25Q_в$	$0,5Q_в$	$0,75Q_в$	$Q_в$
	Q, м^3/с	0	0,474	0,9479	1,4219	1,8958
	$h_{пр}$	0	0,86	2,99	6,31	10,78
	$H_г$	54				
1	S	4,114				
	h	0	0,9243	3,6965	8,3177	14,786
	$H_п = H_г + h_{пр} + h$	54	55,78	60,69	68,63	79,57

2	S	4,387				
	h	0	0,9857	3,9418	8,8696	15,7671
	$H_n = H_г + h_{пр} + h$	54	55,85	60,93	69,18	80,55
3	S	5,583				
	h	0	1,2544	5,0164	11,2877	20,0656
	$H_n = H_г + h_{пр} + h$	54	56,11	62,01	71,6	84,85
4	S	4,774				
	h	0	1,0726	4,2895	9,6521	17,158
	$H_n = H_г + h_{пр} + h$	54	55,93	61,28	69,96	81,94
5	S	8,037				
	h	0	1,8057	7,2214	16,2492	28,8854
	$H_n = H_г + h_{пр} + h$	54	56,67	64,21	76,56	93,67
6	S	9,069				
	h	0	2,0376	8,1486	18,3357	32,5945
	$H_n = H_г + h_{пр} + h$	54	56,9	65,14	78,65	97,37
7	S	7,016				
	h	0	1,5763	6,304	14,1849	25,2159
	$H_n = H_г + h_{пр} + h$	54	56,44	63,29	74,49	90
8	S	7,906				
	h	0	1,7763	7,1037	15,9843	28,4146
	$H_n = H_г + h_{пр} + h$	54	56,64	64,09	76,29	93,19

2.7 Побудова сумісного графіку роботи насосів та водогонів для мережі за схемою №2

За результатами розрахунку таблиць будуються сумісні графіки роботи насосів та водогонів рис. 2.2. З якого видно, що при аваріях подача зменшується. Це зменшення представлено у табл.2.8.

Таблиця 2.8 – Зниження подачі при аваріях на мережі за схемою №2

№ аварійної ділянки	Напір, м	Подача при аварії		Зниження подачі	
		$м^3$/год	%	Абсолютне, $м^3$/год	Відносне, %
1	78,55	6684,01	97,93	140,99	2,07
2	78,68	6575,31	96,34	249,69	3,66
3	79,22	6157,22	90,22	667,78	9,78
4	78,86	6434,01	94,27	390,99	5,73
5	79,96	5501,94	80,61	1323,06	19,39
6	80,11	5279,11	77,35	1545,89	22,65
7	79,68	5751,55	84,27	1073,45	15,73
8	79,91	5536,1	81,12	1288,9	18,88

Основою для порівняння надійності забезпечення споживачів при використанні різних мереж послужила вимога [17], щоб при будь-якій аварії в системі подача не зменшувалась більше, ніж на 30%. Аналізуючи зниження подачі при аварійних ситуаціях можна зробити висновок, що мережа за схемою №2 відповідає нормам [17]. Найбільше зниження подачі спостерігається при аварії на 6 ділянці й становить 22,65 % .

Подачу при аваріях на мережі за схемою №2 представлено також на діаграмах на рис.2.3.

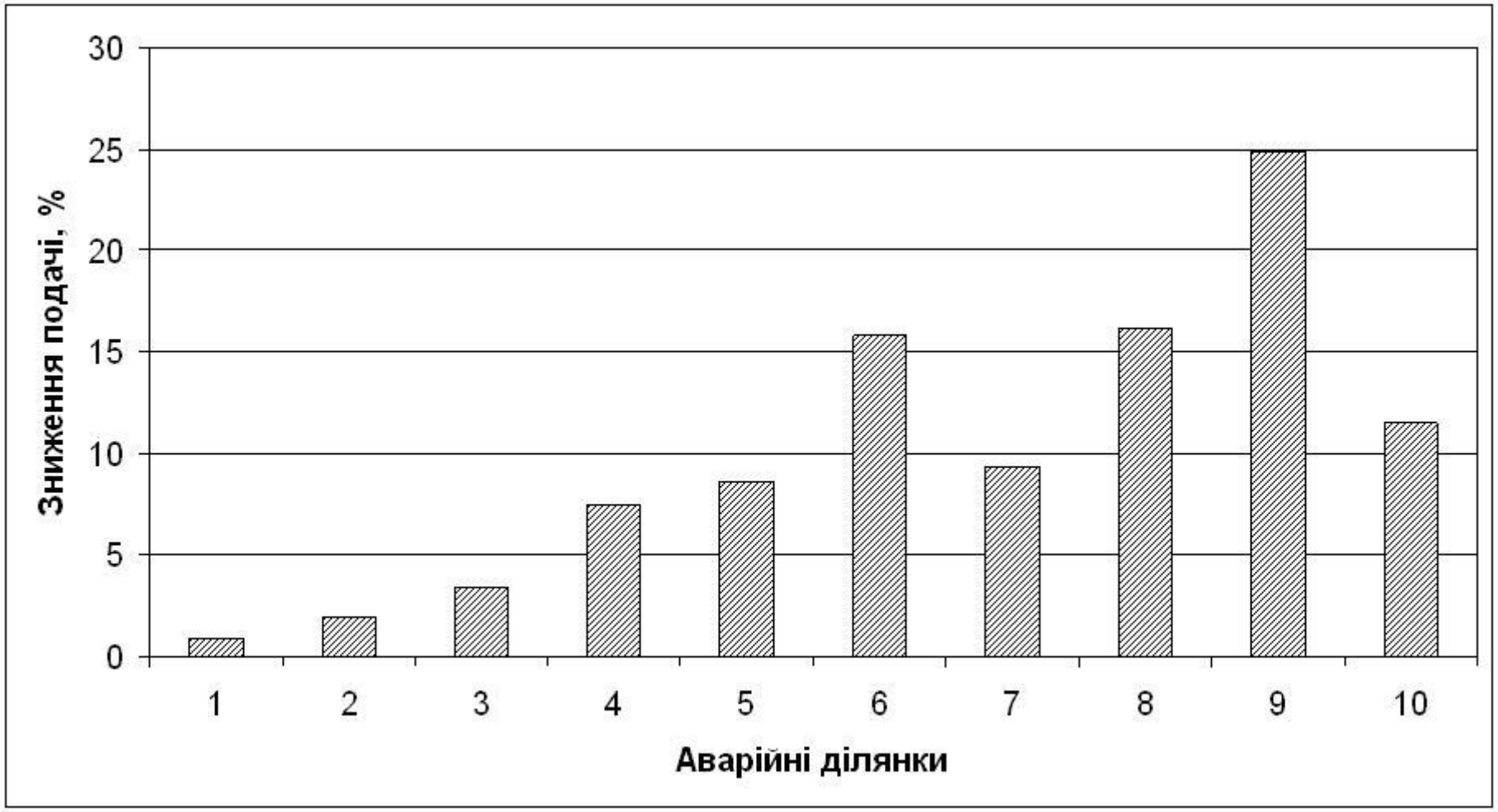


Рисунок 2.2 – Діаграма зниження подачі води у мережу за схемою № 1 при аварійних ситуаціях

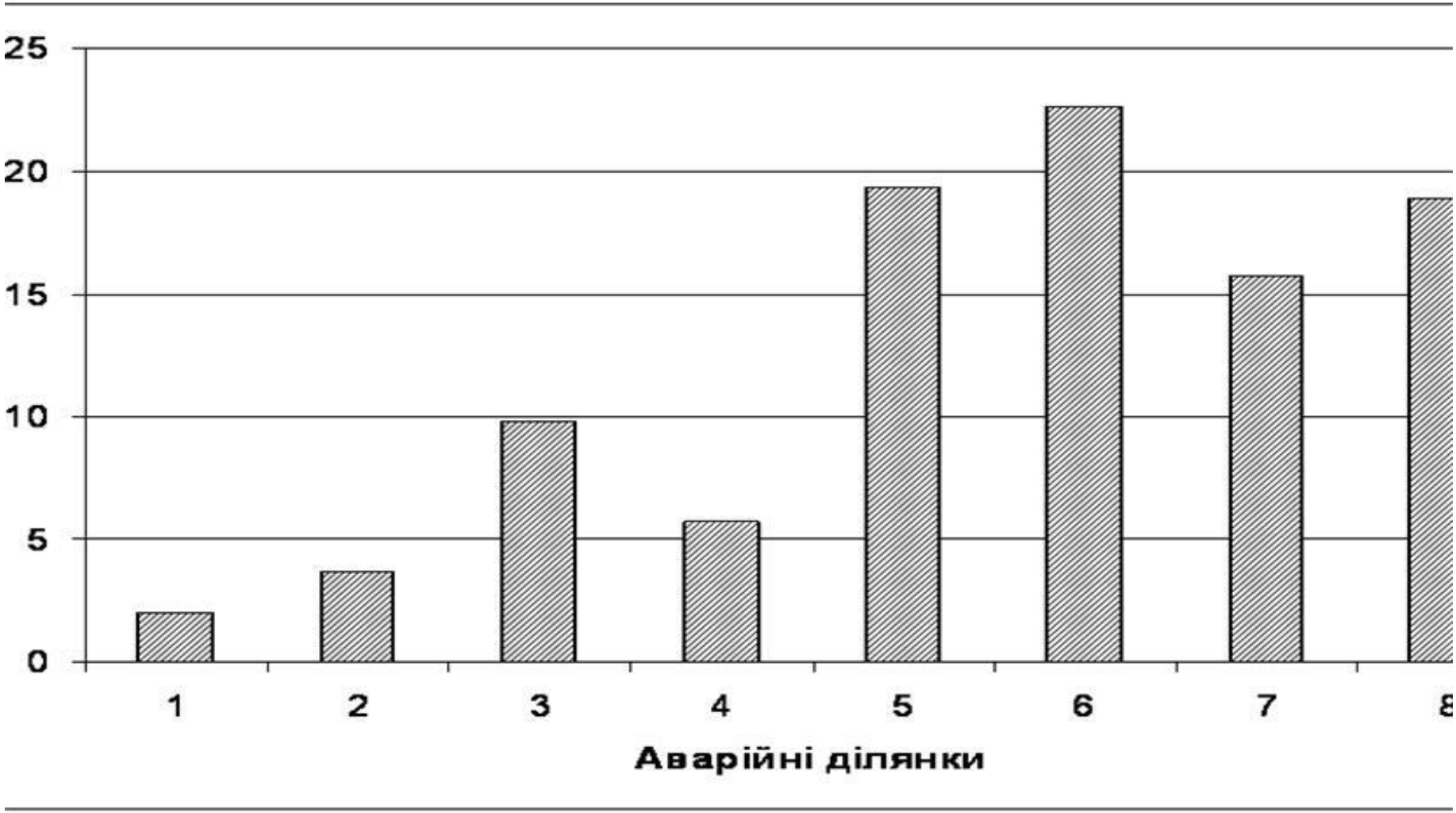


Рисунок 2.3 – Діаграма зниження подачі води у меріжу за схемою№ 2 при авріних ситуаціях

2.8 Розрахунок площі недостатніх напорів при аваріях

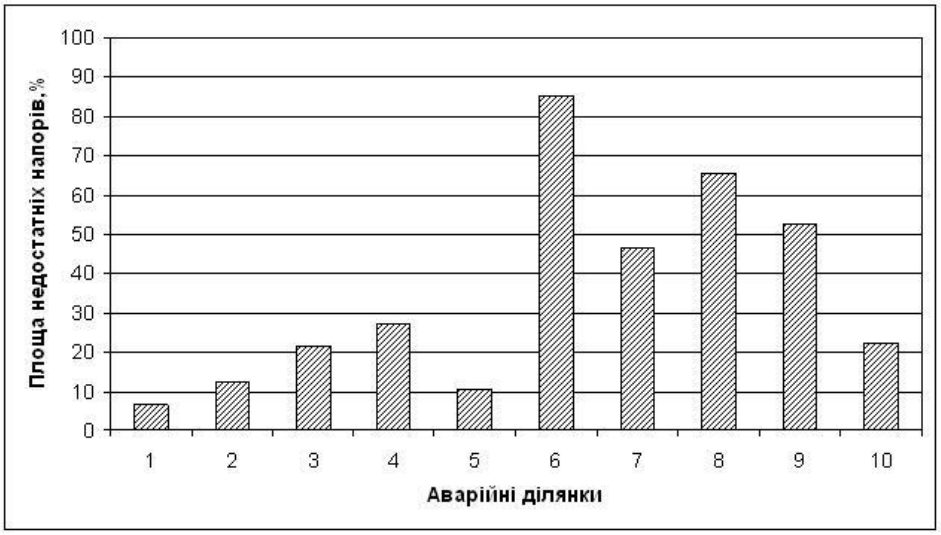
При аварії на будь-якій ділянці частина міста утворюються зони з недостатніми напорами. При моделюванні аварійних ситуацій п'єзометричні позначки за результатами гідравлічного розрахунку визначались відносно вузла №2-тчки підключення водоводів. П'єзометрична позначка в якому була прийнята $П_1$=102,2 м- для мережі за схемою №1 та $П_2$=100,86 м- для мережі за схемою №2. Межі зон з недостатніми напорами встановлені по розташуванню вузлів, в яких не виконується умова (2.9).Отримані схеми представлено а в графічній частині проекту на листах № 4-5. Також побудовано діаграми, на яких площа зон недостатніх напорів представлена у відсотках від загальної площі мереж у табл. 2.9 та на рис. 2.4 (в графічній частині роботи-лист №8).

Таблиця 2.9 – Площа недостатніх напорів при аваріях на мережах за схемами №1 та №2

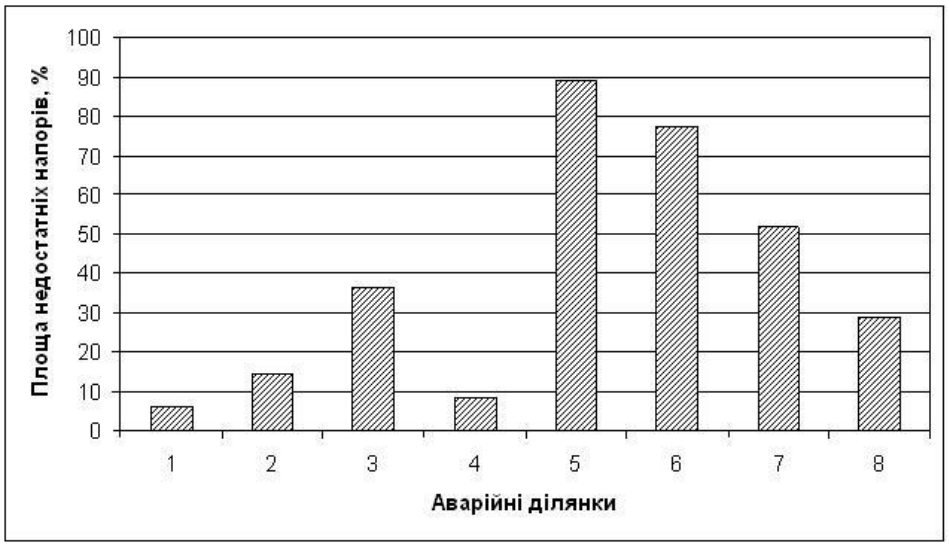
№ аварійної ділянки	Площа недостатніх напорів на мережі за схемою №1		Площа недостатніх напорів на мережі за схемою №2	
	$м^2$	%	$м^2$	%
1	464400	6,05	503700	6,6
2	1089300	14,2	957037	12,5
3	2782300	36,2	1645400	21,4
4	633300	8,3	2089000	27,20
5	6835900	89,00	822700	10,7
6	5927400	77,2	6537930	85,1
7	3978500	51,80	3580720	46,6
8	2195600	28,6	5018950	65,4
9			4042100	52,6
10			1712600	22,30

Найбільша площа недостатніх напорів спостерігається при аваріях на початкових ділянках, що пояснюється участю при транспортуванні води.

Через початкові ділянки проходить основний потік води й при виході їх з ладу виникає збільшення навантаження паралельних ліній та збільшення втрат тиску в них. Зменшити площу недостатніх напорів можливо за рахунок підвищення надійності аварійної ділянки, наприклад, проклавши її в дві паралельні лінії.



А)



Б)

Рисунок 2.4 – Діаграма площі нудостаючих напорів при аварійних сітуаціях на мережах за схемами №1 і № 2

3 БЕЗТРАНШЕЙНІ МЕТОДИ БУДІВНИЦТВА І РЕКОНСТРУКЦІЇ ІНЖЕНЕРНИХ КОМУНІКАЦІЙ

3.1 Актуальні питання використання безтраншейних технологій при будівництво, ремонті і реконструкції підземних комунікацій

Початок нового тисячоліття характеризується інтенсивним зростанням міст, розвитком базових галузей промисловості, будівництва, транспорту і телекомунікацій. Це створює потребу у спорудженні нових підземних комунікацій різного призначення. Водночас, значна частина існуючих мереж, прокладених 20-50 років тому, вимагає реконструкції та оновлення. У зв’язку з цим прогнозується, що в найближчі роки зберігатиметься високий потенціал для інвестицій у будівництво, модернізацію та ремонт підземних комунікацій.

Реконструкція діючих і будівництво нових трубопроводів часто здійснюється в межах міських територій, на діючих промислових об’єктах та в умовах складних геологічних і географічних особливостей. Ці роботи супроводжуються технічними, технологічними та екологічними обмеженнями. Траси трубопроводів нерідко перетинають річки, болота, яри, лісові масиви, дороги, залізничні колії, інші трубопроводи та території функціонуючих підприємств.

За таких умов використання традиційних методів із зовнішньою екскавацією ґрунту стає надзвичайно складним або навіть неможливим. Ці фактори, разом із впливом природних та штучних чинників, обумовлюють важливість активного впровадження безтраншейних технологій для будівництва, ремонту та реконструкції підземних комунікацій, особливо в нестандартних та складних умовах [1,3].

Питанням експлуатаційної надійності трубопроводів водопровідних мереж та пошуку ефективних технологічних рішень для їх використання в ремонтно-відновлювальних роботах присвячені роботи вчених України, Німеччини та інших країн: С.В. Храменкова, В.А. Петросова, А. Г. Приминить, В. О. Орлова, П. П. Махнєва, Пітера Бруссіґ, Міхаеля Ульріха, Герхарда Кіссельбаха, Адольфа Бема, Федорченко. О. Н, Гончаренко Д. Ф, Вевелер. Х. В. та інші.

Одним з пріоритетних видів безтраншейного прокладення мереж є горизонтальне спрямоване буріння(ГСБ) - спосіб утворення свердловини із запроектованими характеристиками, безперервним моніторингом процесу буріння і коригування траси в процесі її будівництва[1,3].

Міські дороги у відмінності від приміських доріг, мають під конструктивними шарами дорожнього одягу на міських вулицях і дорогах досить велику кількість підземних інженерних мереж і споруд (водопроводи, каналізаційні мережі, всілякі кабелі : силові, телефонні і ін., газопроводи, теплові мережі і т. п.).

Аварійні розкриття міських доріг складають щорічно близько 70%, що більш ніж в 2 рази вище за планових.

Як правило, усі аварійні розтини міських доріг робляться відкритим способом. Особливо слід зазначити культуру виробництва робіт, пов'язаних з розкриттям міських доріг і подальшим їх відновленням. Частенько при ремонті підземних мереж в межах проїжджої частини стінки ґрунту і конструктивних шарів дорожнього одягу не закріплюються, і відбувається їх руйнування. Не менш важливою обставиною є і те, що на розкритих ділянках доріг і тротуарів порушується однорідність показників фізико-механічні властивостей ґрунту і конструктивних шарів дорожнього одягу, слідством чого і являється поява через певний проміжок часу після відновлення просідали, погіршуючи показники рівності покриття.

Традиційні методи ведення ремонту, що припускають масштабні земляні роботи, менш ефективні, а у ряді випадків і неможливі, зокрема, із-за

небезпеки ушкодження пам'ятників архітектури. Альтернатива - так звані безтраншейні методи, що дозволяють проводити ремонт трубопроводів з мінімальними земляними роботами.

Їх головні переваги[3]:

– скорочення часу і витрат на земляні роботи і подальше впорядкування;

– гарантія довговічності результату (термін служби пластиків не менше 50 років);

– можливість проведення оперативної санації трубопроводів в будь-який сезон;

– збільшення пропускної спроможності трубопроводів (на поверхні полімерних труб не утворюються відкладення, біологічні плівки, корозійні нарости);

– збільшення надійності каналізаційних мереж, скорочення ризику поривів до мінімуму;

– стовідсоткове усунення всіх дефектів відновлюваної ділянки

3.2 Оцінка необхідності проведення ремонтних робіт трубопроводів. Вибір методів реконструкції

За результатами технічних обстежень визначається необхідність проведення і види ремонтних робіт на трубопроводах. Існують традиційні методи ремонту(заміна «сталь на сталь», «сталь на ПЕ»), пов'язані з великою кількістю земляних робіт. У обмежених міських умовах вони застосовні лише для заміни невеликих ділянок пошкоджених газопроводів завдовжки в декілька метрів. А для реновації газопроводів значної протяжності в обмежених міських умовах застосовуються ПЕ труби і безтраншейні технології прокладення(протягання).

При виборі методу реконструкції необхідно враховувати:

– технологічну можливість застосування того або іншого методу ремонту;

– результати гідравлічного розрахунку пропускної спроможності системи газопостачання і збереження існуючого тиску в мережі;

– можливість зменшення діаметру газопроводу з підвищенням тиску в мережі(наприклад, перекладу газопроводу з низького на середній тиск і так далі);

– технічний стан газопроводу (міра ушкодження металу труби, ізоляційного покриття, наявність і ефективність роботи ЕХЗ і інші.);

– економічну доцільність з техніко-економічним обґрунтуванням і порівнянням варіантів.

Однією з поширених технологій реконструкції зношених сталевих трубопроводів є реновація методом протягання ПЕ труби усередині сталевої (зі зміною діаметру, з переходом з низького тиску на середнє або без переходу).

У міських умовах для будівництва газопроводів бажане застосування наступних ПЕ труб:

– з ПЕ 100;

– з РЕХ;

– з багатошарового ПЕ;

– металопластикових труб;

– труб з армованих термопластичних матеріалів.

В основному застосовуються труби, виготовлені з композицій поліетилену ПЕ 80 і ПЕ100(гарантований термін експлуатації - 50 років).

ПЕ 100 в порівнянні з ПЕ 80 має значно великі характеристики міцності і більш високу стійкість:

– до повзучості;

– до повільного поширення тріщин;

– до швидкого поширення тріщин.

У європейських країнах для санації зношених газопроводів використовуються безтраншейні методи ремонту без зміни діаметру трубопроводу:

– «U – Liner»;

– «Фенікс»;

– безтраншейні технології прокладення газопроводів з використанням горизонтального спрямованого буріння; горизонтального буріння з промиванням;

– технології продавлювання з руйнуванням або виштовхуванням старої труби.

«U – Liner» і «Фенікс» - дорогі методи, але в обмежених міських умовах вони вирішують проблему продовження терміну служби експлуатованих газопроводів.

Будівництво нових газопроводів із застосуванням горизонтального спрямованого буріння дозволяє прокладати газопроводи під водними перешкодами, автомобільними, залізничними і трамвайними шляхами, в скверах, парках; у специфічних ґрунтах, в умовах щільної житлової забудови міст, на території промислових підприємств. Але цей метод складений для виконання в обмежених міських умовах, оскільки відбувається рух ґрунту, що може пошкодити існуючі комунікації. [22].

Таким чином для діагностики технічного стану розподільних і внутрішніх газопроводів, а також розрахунку їх залишкового ресурсу відсутня нормативна база.

Усі вище перелічені методи санації підземних сталевих газопроводів, успішно вживані в європейських країнах, на сьогодні нелегітимні в Україні(окрім методу протягання ПЕ труби усередині сталевої) через відсутність нормативної бази.

Санація і реновація газопроводів - завдання державного рівня. Проте сьогодні така політика відсутня, а силами обласних ВАТ по газифікації і газопостачанню це завдання фінансово не вирішується.

3.3 Безтраншейні технології відновлення трубопроводів: релайнінг і реновація

Фактично в 90-і роки минулого століття були не лише створені нові технології відновлення старих трубопроводів - це було і час верифікації багатьох методів, на перший погляд дешевих, але недовговічних.

Аналізуючи приклади зі світової практики, є сенс акцентувати увагу на проєктах, які вже реалізували сусіди України - Польща і країни Балтії. Загальний технічний стан трубопроводів в цих країнах, за оцінками фахівців, викликає побоювання. Тому реновація малонадійних комунікацій - один з найбільш дієвих способів повернення трубопроводам первинних проектних параметрів. Передумовою для початку безтраншейних ремонтних робот являється очищення труб, а також їх дослідження. для задоволення різних вимог використовуються і різні методи[1,3.22].



Рисунок 3.1 –Ремонт трубопроводу з мінімальними технічними складнощами і можливістю проведення в умовах щільної міської забудови

Однією з поширених технологій реконструкції зношених сталевих газопроводів є реновація методом протягання ПЕ труби усередині сталевої (зі зміною діаметру, з переходом з низького тиску на середнє або без переходу).

Протягання(релайнінг) усередині зношених трубопроводів стандартних поліетиленових труб PE-HD - найбезпечніший і найбільш ефективний спосіб відновлення корродованої труби. При релайнінге трубами PE-HD не мають значення вид і місце корозії, оскільки витягувальна труба - це однорідний канал з несучою конструкцією.



Рисунок 3.2 - Протягання поліетиленової труби усередині сталевої



Рисунок 3.3 - Горизонтальне спрямоване буріння



Рисунок 3.4 -Стягування батога з водопровідних труб

При протяганні міняється діаметр відновлюваного трубопроводу, і, отже, підвищується робочий тиск в мережі. Наприклад, відновлені таким методом газопроводи перекладаються з низького тиску на середній. для зниження тиску на вводі споживачів встановлюються шафові регулятори тиску. Переклад системи газопостачання на середній тиск дозволяє зменшити протяжність підземних газопроводів, оскільки стають непотрібними мережі трубопроводів низького тиску і паралельні прокладення.

Для кращої ілюстрації ефективності методу релайнінгу наведемо приклади зі світової практики. У 1982 році була проведена реконструкція міського водопроводу Бангкока. Стара система транспортування води була ненадійна - втрати питної води складали 43 відсотки, а робочий тиск знизився з проектних 0,6 до 0,1 МПа. Такі великі втрати були обумовлені застосуванням чавунних труб, які не витримували умов експлуатації. Вулиці міста побудовані на піску, покритому 20-сантиметровим шаром бетону, поверх якого, - асфальт. Інтенсивний вуличний рух створював постійну вібрацію, і жорсткий чавунний трубопровід був схильний до постійних переміщень. Була проведена реновація головного водопроводу діаметром 710-900 мм методом релайнінга, використовуючи труби PE-HD. Фахівці розкрили водопровід лише в місцях, де були люки і арматура. Щонайдовший відрізок поліетиленової труби, який протягнули усередині старого

трубопроводу, був близько 700 метрів. діаметр труби після реновації зменшився на 10-20 відсотків, але тиск зріс до 0,6 МПа. Після 20 років експлуатації відновленого трубопроводу не було жодних проблем[3].

Доречно згадати і про релайнінг чавунного газопроводу в Монако. Поліетиленова труба діаметром 900 мм була протягнута в старому 1000-міліметровому газопроводі, який, до речі, теж був у хорошому стані, але на стиках втратив суцільність зварного шва. Проблема ця характерна для багатьох трубопровідних мереж. Витоки з'являються в місцях з'єднань. Це обумовлено дією інтенсивного автомобільного руху і старінням сполучних деталей, місць зварювання.

Цікавий збіг обставин : фахівці провели реновацію газопроводу перед головною адміністративною будівлею центру стандартів DIN в Монако.

Показовий і ремонт трубопроводу в р. Остроленка (північно-східна Польща). Сталевий напірний канал діаметром 700 мм і завдовжки близько 1800 метрів відводив агресивні стічні води з целюлозного комбінату. Цей сталевий колектор побудували 20 років тому(у той час інші матеріали були відсутні). Після десяти років експлуатації стан трубопроводу став аварійним. Бетонування каналу поліпшило ситуацію ще на п'ять років. На жаль, цей метод не зупинив подальшу корозію трубопроводу. Комбінат виявився перед дилемою: міняти увесь трубопровід або знайти інший метод реновації. який зберіг би трубопровід на довгі роки. Традиційні методи були вичерпані. Метод реновації був реалізований в 1996 році. для ремонту були використані труби PE-HD діаметром 630 мм з товщиною стінки 37,3 мм. Реновація проведена методом релайнінга. Відрізки труб завдовжки 200-300 м кожна були протягнуті в сталевому каналі.

Слід зазначити, що вартість реновації каналу поліетиленовими трубами була в два рази менше, ніж бетонування трубопроводу, проведене п'ятьма роками раніше. А співвідношення вартості поліетиленових труб до інших витрат при реновації(метод труба в трубу) складає 1:1. Роки експлуатації

підтверджують відсутність впливу агресивних стічних вод на поліетиленові труби.

У Україні не менш гостро стоїть питання про реновацію трубопровідних систем(експлуатаційна надійність багатьох сталевих трубопроводів не перевищує 10 років). Щорічні втрати води досягають 40 відсотків, тепла - 15-18%, 10-12% - нафтопродуктів. Ліквідація аварій і заміна зношених мереж обертається для бюджету значними витратами.

У 2003-2005 рр. в Харкові із застосуванням нових ПЭ технологій виконана реконструкція окремих ділянок газопроводів загальною протяжністю 3,7 км.

Перше протягання завдовжки 1,4 км було здійснене на проспекті Героїв Харкова. За результатами технічного обстеження цей газопровід знаходився в аварійному стані і вимагав негайного ремонту. для його реконструкції був розроблений і погоджений в установленому порядку пілотний проект. Власними силами створені також інструменти і пристосування для підготовки внутрішньої порожнини сталевої труби до протягання, виконані креслення *і* конструкції пристосувань для монтажу і центрування труб. При будівельно-монтажних роботах були прийняті заходи для запобігання ушкодженням труб, встановлені додаткові відключаючи крани. З'єднання труб робилося за допомогою деталей із заставними електронагрівачами.

У подальші роки цей метод успішно застосовувався для реновації зношених газопроводів в р-ні Північної Салтовки.

Безтраншейна технологія дозволила виконати роботи в обмежених умовах - поряд з великими автомагістралями, метрополітеном, великою насиченістю суміжних комунікацій. При цьому використовувалися труби з ПЕ 80, їх засипка в приямках робилася піском.

Окрім найбільш поширеного протягання стандартних поліетиленових труб усередині зношеного трубопроводу, застосовуються технології U - Liner і Phoenix[1,3,4,22].

Метод U - Liner**.** Цей метод трохи змінює діаметр трубопроводу і дозволяє зберегти в нім проектний тиск. Профільна труба відновлює свою первинну круглу форму(ефект пам'яті) і щільно прилягає до стінок старої труби під впливом пари**.**

Метод Phoenix є шланговим облицюванням, яке відновлює трубопровід з використанням лайнера з синтетичних тканин і спеціального клею. Відбувається облицювання трубопроводу для будь-якого середовища по усій площі. Умовний діаметр відновлюваних трубопроводів складає від 100 до 900 мм(для безнапірних трубопроводів від 150 до 800 мм). На будівельному майданчику лайнер заповнюється епоксидним клеєм. Потім він намотується на ревізійний барабан, а кінець шланга накладається на зворотний фланець. За допомогою стислого повітря починається його «відгинання» в трубу, що санує.

Трос, що одночасно простягається, робить вплив на швидкість проходження лайнера. Після повного проходження лайнера через ділянку труби в неї подають суміш сухої пари високої температури, що забезпечує твердіння клею.

Безнапірні трубопроводи можна санувати, застосовуючи метод RIB – LOK **(**втягування труби, що утворюється намотуванням). За допомогою цього методу можуть санувати дефектні каналізаційні трубопроводи в діапазоні умовних діаметрів величиною від 200 до 1200 мм. Роботи проводяться в оглядовому колодязі, де пластмасовий профіль за допомогою намотувальної машини намотується в нову каналізаційну трубу, яка вводиться в стару трасу. Вільний кільцевий простір, що залишився, між дефектною трубою і трубою RIB - LOK забивається спеціальною трамбівкою для підвищення статичної міцності.

Одним з найбільш ефективних безтраншейних методів є метод руйнування трубопроводів, що дозволяє замінювати зношені мережі на нові полімерні. Переваги методу полягають в тому, що за одну зміну можна замінити ділянку трубопроводу в середньому завдовжки 200-250 м зі

збереженням або збільшенням діаметру. Це означає, що при ущільненні міської забудови можна збільшити кількість води, що подається, без прокладення нових комунікацій за рахунок збільшення діаметру того, що подає водовода.

Метод руйнування трубопроводів на сьогодні є одним з найдешевших і легших в застосуванні. Його дешевизна обумовлюється високою швидкістю проведення робіт, невеликою кількістю використовуваної техніки і механізмів і мінімальною кількістю обслуговуючого персоналу. Для проведення робіт необхідно підготувати два невеликі котловани в початковій і кінцевій точках замінюваної ділянки труб. Один для установки в нього руйнівника, а інший - для простягання нової полімерної труби. Далі через існуючий трубопровід на всю довжину замінюваної ділянки проштовхуються сталеві штанги, що автоматично скручуються. Потім до штанг приєднується спеціальний ніж, який і руйнує існуючу трубу. До ножа кріпиться насадка, за яку протягають зварений полімерний батіг. За робочу зміну можна відремонтувати ділянку більше 150 метрів.

Усі вищеописані методи відновлення трубопроводів гарантують 100% непроникність, відсутність корозії, довговічність, конструкційну однорідність нового каналу, високу економічність.

Вартість робіт методом «U-Liner» 200 євро за 1 м.п.; методом «Фенікс» 300 євро за 1 м.п. До того ж відсутня нормативна база.

Метод спрямованого горизонтального буріння досить складений в обмежених міських умовах. В основному використовується в місцях перетинів з різними перешкодами. Нормативна база відсутня.

Найбільш оптимальним в наших умовах є метод протягання ПЕ труб усередині сталевих(приблизно 100 грн, або 15 євро за 1 мп.).

Виходячи з умов міцності, надійності і довговічності, ефективніше використати для реновації газопроводів не ПЕ 80, а ПЕ 100. Але дорожчі труби з РЕХ і багатошарові поліетиленові труби мають більш високі характеристики міцностіі не вимагають додаткової засипки піском. Вони

найбільш підходять для відновлення і прокладення трубопроводів безтраншейними методами.

3.4 Безтраншейні технології будівництва трубопроводів - горизонтальне спрямоване буріння

Модернізація тих, що діють і будівництво нових трубопроводів частенько проходять на територіях населених міст з щільною забудовою і розгалуженою інфраструктурою, промислових підприємств, в скрутних геологічних і географічних умовах, при дії ряду технічних, технологічних і екологічних обмежень. Очевидно, що виробництво робіт традиційними методами із зовнішньою екскавацією ґрунту тут сильно ускладнене або неможливе. Ці і цілий ряд інших чинників обумовлює актуальність прискореного впровадження безтраншейної техніки і технологій, серед яких особливою ефективністю і незамінністю в нестандартних і екстремальних умовах відрізняється саме ГСБ[1,3].

Нині є безліч визначень цієї технології. Але найбільш вдалим, на думку фахівців, видається наступне:

Горизонтальне спрямоване буріння - це спосіб освіти в ґрунті свердловини із запроектованими характеристиками, безперервним моніторингом процесу буріння і відповідним коригуванням траси в ході її будівництва. Технологія ГСБ складається з трьох етапів (рис. 3.5).

Етап 1. Буріння пілотної свердловини. Попередній отвір по запланованій осі майбутнього трубопроводу починають бурити під ухилом 11- 200. З досягненням проектної глибини напрям проходки стає горизонтальним. Буріння здійснюється за допомогою породоразрушающего інструменту - бурової голівки із скосом в передній частині(буровою лопаткою). У голівку вбудований також спеціальний випромінювач, за

допомогою якого визначають глибину розташування і кут ухилу голівки відносно поверхні. Власне, спрямоване(кероване) буріння можливо тільки на цьому етапі. Бурова голівка через порожнистий корпус сполучена з гнучкою приводною штангою, що дозволяє управляти процесом формування пілотної свердловини і обходити виявлені перешкоди у будь-якому напрямі(в межах природного вигину робочої нитки, що простягається). Просто кажучи, прямолінійне буріння здійснюється за допомогою одночасного втискування в грунт і обертання бурової голівки. Коли ж її тільки вдавлюють в грунт (без обертання) - здійснюється поворот в напрямі, залежний від положення бурової лопатки і її «рульових» характеристик.

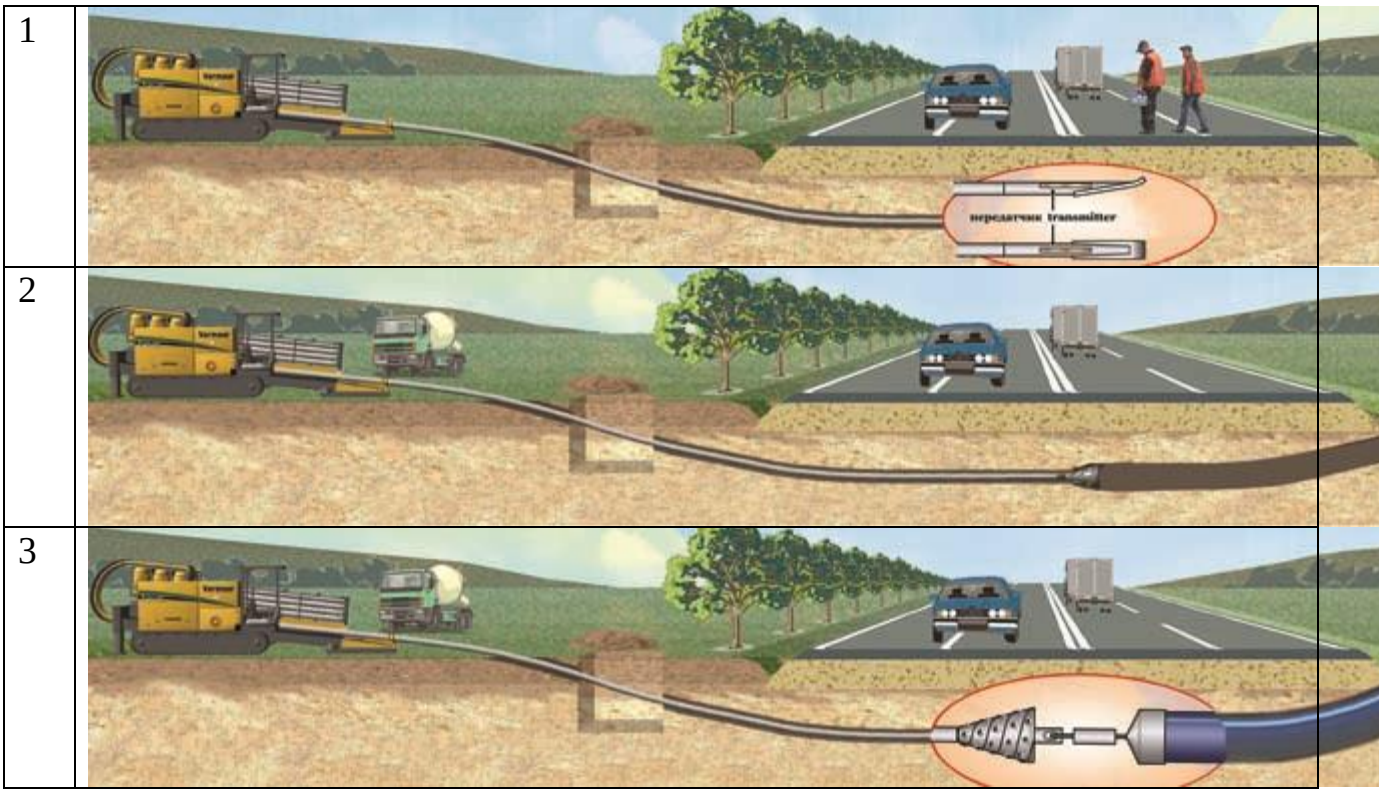


Рисунок 3.5 – Етапи прокладання підземних комунікацій методом ГСБ з допомогою спеціалізованої техніки: 1- пілотне буріння; 2- розширення; 3- затягування трубопроводу.

Етап 2. Розширення свердловини. Після досягнення пункту виходу бурову пілотну голівку від'єднують від бурових штанг, а замість неї

приєднують розширювач зворотної дії - риммер. Докладанням тягового зусилля з одночасним обертанням риммер простягається через створ свердловини у напрямі бурової установки, розширюючи пілотну свердловину до необхідного діаметру. Залежно від величини розширення цей процес може бути одноразовим або багатократним. для забезпечення безперешкодного простягання труб через розширену свердловину її діаметр повинен на 25-30% перевищувати діаметр трубопроводу.

Етап 3. Простягання трубопроводу. Готовий батіг трубопроводу розташовується на протилежній від бурової установки стороні свердловини. До переднього кінця батога кріпиться оголовок з вертлюгом, що сприймає тягове зусилля, і риммером. Вертлюг обертається з буровою ниткою і риммером, але не передає обертальний рух на трубопровід. Таким чином, бурова установка затягує у свердловину батіг трубопроводу по проектній траєкторії.

Ефективність, технічна і економічна доцільність застосування технології ГНБ багато в чому зумовлені її універсальністю. Типові діаметри використовуваних тут труб - від 50 - 100 до 1500 мм, тоді як довжина буріння без виходу на поверхню може досягати навіть 2300 м. Метод застосовний майже в усіх типах ґрунтів і скель(групи I - V з семи існуючих по класифікації), з трубами з різних матеріалів(ПЕ, сталь, сфероїдальний чавун). При тому, що погрішність керованого буріння свердловини складає всього 50 мм.

Проте, приведені вище параметри зовсім не слід вважати межею можливостей ГСБ. Австралійські фахівці, зокрема, стверджують, що нині не існує причин, із-за яких, при необхідності, неможливо було б пробурити свердловину на надвеликій глибині - наприклад, 1000 м. Вони ж звертають увагу на спорідненість ГСБ і вертикального нафтогазового буріння, практичний досвід якого перевищує зараз 11000 м, а використовуване при цьому устаткування і пристосування - схожі або ідентичні. Тому, виходячи з «нового мислення» і власної концепції наддовгого буріння методом ГНБ,

австралійці констатують практичну здійснимість пілотних отворів протяжністю 10 км[4,5]..

Не менш переконливо і вражаюче виглядають також економічні розрахунки ординарного застосування технології ГНБ. У далекому зарубіжжі вартість робіт на будівництво комунікацій цим методом залежно від конкретних умов складає в середньому 300-600 доларів США за прокладення 1 м трубопроводу. Визначальним чинником ціни на роботи методом ГНБ в Америці і Західній Європі є діаметр трубопроводу(орієнтовно береться найпростіше співвідношення: 1 мм - 1 долар). При ґрунтовніших розрахунках, окрім цього, враховують також матеріал труб, категорію ґрунту, глибину залягання комунікацій, наявність перешкод та ін. Але в основному, фахівці єдині в оцінці економічної ефективності застосування технології ГНБ порівняно з іншими способами будівництва трубопроводів. На їх думку, використання ГНБ для спорудження інженерних мереж(особливо - переходів під водними перешкодами і лісовими масивами) дозволяє істотно - до 30-50% - скоротити об'єми фінансових витрат.

Про це ж свідчать і розрахунки вітчизняних фахівців, проведені для конкретно го випадку застосування ГСБ в м. Одесі. Обґрунтування: затверджені Держбудом України кошторисні норми по облаштуванню прохідних каналів методом ГСБ на базі керованих бурових установок Navigator фірми Vermeer (як доповнення до збірок Кошторисні норми України. Ресурсних кошторисних норм спорудження об'єктів зв'язку, радіотрансляції і телебачення і Кошторисні норми України. Ресурсні кошторисні норми експлуатації будівельних машин та механізмів (РКНЕМ). Склад робіт: горизонтальне спрямоване пілотне буріння діаметром 100 мм з розширенням до 152 мм в ґрунтах II групи. Результат: певна вартість погонного метра прохідного каналу, отриманого методом ГСБ, склала 649 грн при трудовитратах 2,94 людино-години, що значно дешевше за аналогічні витрати на прокладення комунікацій відкритим способом - 985 грн

при трудовитратах 8 людино-годин. Отже, значне зниження трудовитрат (в 2,7 разу) і економія фінансових ресурсів (в 1,5 л разу) в наявності.

Найважливіша(і обов'язкове) умова успіху при проведенні бурових робіт - наявність надійної локаційної системи. Вона дозволяє точно контролювати процес буріння, напрям проходки і безпомилково визначати місце розташування бурової голівки, а також здійснювати автоматичне регулювання параметрів буріння. При цьому високочастотні комп'ютерні системи контролю отримують усю необхідну інформацію.

Окрема(але далеко не остання за значимістю) глава в технології ГСБ - застосування бурових сумішей. Виробництво відповідних компонентів для їх приготування - самостійний і бурхливо такий, що розвивається напрям світової індустрії. Як показує практика, саме правильно підібраний склад бурового розчину робить ключовий вплив на успіх в реалізації проєкту з використанням ГСБ. Бурові суміші виконують ряд найважливіших технологічних функцій : охолоджують буровий інструмент; служать в якості підкладки для відпрацьованого ґрунту; зменшують тертя і знижують зусилля продавлювання або тяги, необхідне для прокладення трубопроводу; допомагають стабілізувати стінки свердловини при пілотному бурінні і розширенні. У простих випадках застосування технології ГСБ для цих цілей може використовуватися також вода в чистому вигляді, хоча і до неї пред'являються суворі вимоги в плані характеристик хімічного складу(вона не повинна містити кальцій і хлор, а показник її жорсткості(pH) повинен знаходитися в межах 7-10 одиниць). Проте в переважній більшості випадків основу бурових розчинів складає бентоніт - природний глинистий мінерал, що має властивість сильно розбухати при гідратації, а в умовах обмеженого простору і присутності води утворювати щільний гель, який перешкоджає влагообмену. Залежно від умов буріння додаткові властивості основному буровому розчину забезпечують різні полімерні присадки. Вони широко використовуються для збільшення продуктивності(темпів проходки), зменшення фільтрації і подолання складних грунтів.

Безумовно, технологія ГСБ, з якою Україна познайомилася в середині 90-х років майже одночасно з іншими країнами СНД і Східної Європи, переживає на вітчизняному ринку аналогічні «проблеми зростання». Серед чинників, стримуючих темпи її впровадження, в першу чергу слід назвати:

– безальтернативність і дорожнечу імпортної техніки ГСБ;

– відсутність об'єктивної інформації про експлуатаційно-технічні і ремонтні кондиції установок ГСБ різних компаній-виробників;

– відсутність відповідної нормативної бази, єдиних норм і розцінок на здійснення робіт методом ГСБ;

– інертність мислення деяких фірм-монополістів, згідно з яким «великий фронт робіт» забезпечує ним «великі гроші», а економна технологія - навпаки.

3.5 Безтраншейні технології в міських умовах

Це призводить до руйнування цілісності проїзної частини, усіх її конструктивних шарів покриття і основи, надалі - до деформації проїзної частини, що обумовлює втрату міцності, рівності, зносостійкості, передчасне старіння покриття, а у ряді випадків відбувається руйнування прилеглих ділянок із-за тих, що просіли основи і руйнівної дії атмосферних опадів. Витрати на неодноразове відновлення доріг із-за раніше виконаних розкопок не компенсують втрачених якостей проїжджої частини, її цілісності і експлуатаційних характеристик [4,28].

Роботи по улаштуванню конструктивних шарів дорожнього покриття повинні виконуватися в теплу пору року при температурі не нижче 10^0 С. Будь-які відхилення призводять до втрати якості, а відповідно - до нераціонального використання матеріальних і фінансових ресурсів. Ці вимоги практично не виконуються, що обумовлене необхідністю

безперебійного руху автотранспорту. Розкопки міських вулиць призводять до затримок в русі автотранспорту, втратам часи усіма учасниками руху, додатковому забрудненню довкілля за рахунок збільшення шкідливих викидів, збільшенню кількості ДТП.

Затримки автотранспорту із-за розкопок проїзної частини наносять досить відчутний фінансовий збиток. Так, на чотирьох смуговій проїжджій частині при розрахунковому навантаженні на смугу до 600 автомобілей в годину добові втрати складають до 25 тис. грн**.**

Втрати від затримок автотранспорту в місцях розкопок при чотирьох смуговій проїжджій частині складають :

а) за часом: 600х2х0, 82х15х0,75/492= 45 людино-дня,

де 600 - годинне навантаження на смугу(автомобілів в годину);

0,82 - коефіцієнт визначення відношення до занятому населенню;

15 - кількість годин інтенсивного руху автотранспорту;

0,75 - величина затримок автотранспорту (кількість хвилин при перетині),

492 - тривалість робочого дня в хвилинах;

б) за вартістю втрат : 45х130=5850 грн,

де 130 - приведена вартість людино-дня.

Величина прямих витрат (з урахуванням $К_{неравн}$=3,0) : 5850х3=17550 грн;

в) матеріальні витрати по ліквідації тих, що просіли -до 1500 грн

г) загальна сума втрат складе: 5850+17550+1500=24900грн.

До того ж, зростуть непрямі витрати в умовах виникнення ДТП. Моральний збиток і соціальні наслідки при цьому не піддаються прямо-му численню.

Нині розкопування проїжджої частини є небажаним і неприпустимим. При реконструкції міських вулиць і доріг необхідно передбачити додаткові канали для про-кладки підземних інженерних комунікацій. І застосовувати слід тільки безтраншейні технології і прокладення інженерних мереж,

використовуючи передовий, вітчизняний і зарубіжний досвід: методи горизонтального спрямованого буріння(ГСБ), протяжки, «проколу» та інші.

Приклад розрахунку: Склад робі : горизонтальне спрямоване пілотне буріння діаметром 100 мм з розширенням до 152 мм в ґрунтах II групи. На підставі ресурсних кошторисних норм визначена вартість погонного метра прохідного каналу, отриманого методом ГСБ в ґрунтах другої групи. Вона складає 1649 грн при трудовитратах 2,94 людино-години, що значно дешевше за аналогічні витрати на прокладення комунікацій відкритим способом-2985 грн при трудовитрати 8,25 людино-годин.

За прямими витратами набагато вигідніше за виконувати роботу безтраншейним методом(в даному випадку - ГСБ), безумовною перевагою якого є відсутність руйнувань проїжджої частини та ін. елементів благоустрою міста, відсутність причин, що створюють значні перешкоди в русі автотранспорту, що практично завжди має місце при відкритому прокладенні комунікацій.

Отже, значне зниження трудовитрат(у 2,7 разу), поліпшення екологічного стану навколишнього середовища, економія фінансових ресурсів (у 1,6 разу), відсутність непрямих витрат, пов'язаних з втратами часу пасажирів, істотне скорочення термінів будівництва - переконливі свідчення очевидної доцільності застосування безтраншейних технологій в міських умовах.

3.6 Вимоги до якості і приймання робіт

Контроль і оцінку якості робіт на всіх етапах будівництва переходу виконують відповідно до вимог нормативних документів.

Контроль якості виконуваних робіт повинен здійснюватися фахівцями або спеціальними службами, оснащеними технічними засобами, що

забезпечують необхідну достовірність і повноту контролю і покладається на керівника виробничого підрозділу (виконроба, майстра), що виконує дані роботи.

Продукція (вироби, конструкції, труби і ін.), що поступає на будівельний майданчик, повинна пройти вхідний контроль. Даний контроль проводиться з метою виявлення відхилень від вимог проекту і відповідних стандартів. Вхідний контроль здійснюється шляхом перевірки зовнішнім оглядом і вимірами, а також контрольними випробуванням у випадках сумнівів в правильності характеристик або відсутності необхідних даних в сертифікатах і паспортах заводів-виробників. Результати вхідного контролю оформляються Актами вхідного контролю.

Операційний контроль здійснюється в ході виконання виробничих операцій з метою забезпечення своєчасного виявлення дефектів і вживання заходів по їх усуненню і попередженню. Контроль проводиться під керівництвом майстра або виконроба переважно за допомогою вимірювальної апаратури або технічним оглядом.

В процесі підготовчих робіт необхідно здійснювати вхідний контроль труб і з'єднань трубопроводу, наявність сертифікатів і так далі, контролювати на відповідність проєкту:

- розмітку траси;
- кут нахилу бурових штанг - розрахунковому куту забурювання;
- розміри і типи бурової головки, різця, розширювачів;
- склад і якість бурового розчину.

В процесі проходки пілотної свердловини необхідно контролювати:

- кут нахилу, положення і глибину розташування бурової головки;
- відхилення фактичного розташування бурової головки від розрахункового;
- швидкість проходки;
- зусилля проходки;
- тиск і витрата бурового розчину.

В процесі розширення і протягання трубопроводу необхідно контролювати:

– швидкість проходки;
– тиск і витрата бурового розчину;
– зусилля протягання трубопроводу.

Якість виробництва робіт забезпечується виконанням вимог до дотримання необхідної технологічної послідовності при виконанні взаємозв'язаних робіт і технічним контролем за ходом робіт, викладеним в проєкті організації будівництва і проєкті виробництва робіт, а також в схемі операційного контролю якості робіт.

3.7 Матеріально-технічні ресурси

Потреба в машинах і устаткуванні. Механізація будівельних і спеціальних будівельних робіт повинна бути комплексною і здійснюватися комплектами будівельних машин, устаткування, засобів малої механізації, необхідного монтажного оснащення, інвентарю і пристосувань.

Засоби малої механізації, устаткування, інструмент і технологічне оснащення, необхідні для виконання робіт, повинні бути скомплектовані в нормо комплекти відповідно до технології виконуваних робіт.

При виборі машин і установок необхідно передбачати варіанти їх заміни у разі потреби. Якщо передбачається застосування нових будівельних машин, установок і пристосувань, необхідно указувати найменування і адресу організації або підприємства-виробника.

3.8 Охорона праці і техніка безпеки при улаштуванні полімерних трубопроводів

Охорона праці при виробництві робіт по облаштуванню інженерних комунікацій з поліетиленових труб і фасонних виробів в цілому, і по облаштуванню ПЕ комунікацій зокрема, складається з досить великого комплексу різних чинників охорони праці, оскільки ці роботи включають декілька видів робіт. [9,12,13].

Вже на стадії проектування інженерних комунікацій виникає необхідність залучення фахівців і інформаційної бази різних обслуговуючих господарств і організацій для визначення наявності і місцерозташування існуючих комунікацій, оскільки частенько магістральні мережі будуються на досить великих територіях, і є небезпека їх перетину або ушкодження.

Безпосередньо на майданчиках проведення робіт також проводять детальні розмітки і «трасування» майбутніх виїмок в присутності або з відома обслуговуючих господарств і організацій. Крім того, незважаючи на наявність підтверджених узгоджень, земляні роботи робляться під контролем відповідальної особи - виконроба або майстра

Результатом ушкодження існуючих комунікацій можуть бути різні травми і каліцтва людей і ушкодження машин і механізмів в наслідок поразки електричним струмом, вибухів та інше.

Наступний об'ємний комплекс заходів по охороні праці є присутнім при виробництві земляних робіт, які підрозділяються на підготовку і розбиття території; розпушування або відтавання(при необхідності) ґрунту і, безпосередньо, спорудження котлованів і траншей. Усі роботи виконуються з суворим дотриманням правил по виробництву таких робіт(враховуються такі чинники: вид ґрунту, місцевості, міра розпушування і вологості ґрунту, висота виїмки, безпечні відстані та інші).

Відповідальність за виконання заходів щодо техніки безпеки, охорони праці, промсанітарії, пожежній і екологічній безпеці покладається на керівників робіт, призначених наказом.

Відповідальну особу здійснює організаційне керівництво будівельними і монтажними роботами безпосередньо або через бригадира. Розпорядження і вказівки відповідальної особи є обов'язковими для тих, що всіх працюють на об'єкті.

Охорона праці робочих повинна забезпечуватися наданням адміністрацією необхідних засобів індивідуального захисту (спеціального одягу, взуття і ін.), виконанням заходів щодо колективного захисту робочих (огорожі, освітлення, вентиляція, захисні і запобіжні пристрої і пристосування і так далі), санітарно-побутовими приміщеннями і пристроями відповідно до норм, що діють, і характеру виконуваних робіт. Робочим повинні бути створені необхідні умови праці, живлення і відпочинку. Роботи виконуються в спецвзутті і спецодягу. Всі особи, що знаходяться на будівельному майданчику, зобов'язані носити захисні каски.

Розпорядження по техніці безпеки повинні враховуватися і знаходити віддзеркалення в організаційно-технологічних картах і схемах на виробництво робіт.

Терміни виконання робіт, їх послідовність, потреба в трудових ресурсах встановлюється з урахуванням забезпечення безпечного ведення робіт і часу на дотримання заходів, що забезпечують безпечне виробництво робіт, щоб будь-яка з виконуваних операцій не була джерелом виробничої небезпеки для одночасно виконуваних або подальших робіт.

При розробці методів і послідовності виконання робіт слід враховувати небезпечні зони, що виникають в процесі робіт. При необхідності виконання робіт в небезпечних зонах повинні передбачатися заходи щодо захисту тих, що працюють.

Санітарно-побутові приміщення, автомобільні і пішохідні дороги повинні розміщуватися поза небезпечними зонами. У вагончику для

відпочинку робочих повинні знаходитися і постійно поповнюватися аптечка з медикаментами, носилки, що фіксують шини і інші засоби для надання першої медичної допомоги. Всі працівники що працюють на будівельному майданчику повинні бути забезпечені питною водою.

Особа, відповідальна за безпечне виробництво робіт, зобов'язана:

– ознайомити робочих з Робочою технологічною картою під розпис;

– стежити за справним станом інструментів, механізмів і пристосувань;

– роз'яснити працівникам їх обов'язки і послідовність виконання операцій.

До роботи на бурових агрегатах допускаються особи, що пройшли спеціальну підготовку і що засвоїли:

– пристрій агрегату;

– підготовку агрегату до роботи;

– управління механізмами агрегату в цілому;

– виробництво робіт по бурінню свердловин;

– техніку безпеки при роботі.

Підтвердження кваліфікаційної групи слід проводити щорічно із записом в журналі перевірки знань по техніці безпеки.

До виконання робіт по прокладці газопроводів методом похило-направленого буріння допускаються робочі і фахівці, навчені, атестовані і такі, що мають відповідні посвідчення, а також що пройшли:

– медичний огляд і визнані придатними для виконання будівельних і монтажних робіт;

– навчання і перевірку знань по безпечних методах і прийомах праці, пожежній безпеці, наданню першої медичної допомоги і що мають про це спеціальне посвідчення;

– ввідний інструктаж по техніці безпеки, виробничій санітарії і інструктаж безпосередньо на робочому місці. Повторний інструктаж

проводиться не рідше за один раз на три місяці. Проведення інструктажу реєструється в спеціальному журналі.

Загальні вимоги техніки безпеки для всіх робочих:

– забороняється стороннім особам знаходитися на робочому майданчику;

– забороняється торкатися до штанги, що обертається;

– роботу проводити тільки в спеціальному одязі і із застосуванням засобів захисту;

– забороняється змінювати встановлену технологію виконання робіт без дозволу бригадира або начальника бурового комплексу;

– забороняється використовувати машини і механізми не по прямому призначенню;

– забороняється працювати на установках, рухомі частини яких (муфти, передачі, шківи) не забезпечені огорожею, що виключає небезпеку травмування і попадання в них сторонніх предметів, а так само знаходитися в небезпечній зоні і поблизу працюючих машин і механізмів під час відпочинку і перерви в роботі;

– захаращувати матеріалами і устаткуванням робочі місця і проходи;

– палити і розводити вогонь в заборонених місцях.

Членам бурової бригади забороняється:

– передавати управління і обслуговування механізмів і устаткування особам, що не мають на це дозволу, а також залишати працюючі механізми, що вимагають присутності людей, без нагляду;

– допускати присутність людей безпосередньо у ротора під час роботи бурового верстата;

– перемикати швидкості, включати і вимикати муфти механізмів при включеному фрикціоні двигуна;

– при надяганні стропів брати їх ближче 40 см від вантажу і знаходитися напроти них при підйомі;

– знаходитися в радіусі дії ключа при розгвинчуванні труб ротором;

– працювати ключами при невідповідності їх розмірів діаметру труб, зношених сухарях і несправних ручках;

– чистити різьбові з'єднання труб руками (потрібно щітками!), нагвинчувати і відгвинчувати інструмент на вазі (слід застосовувати спеціальні дошки);

– використовувати в роботі труби з різьбовими з'єднаннями, що недокрутили;

– залишати роботу вузла приготування бентонітового розчину і насосів без нагляду;

– працювати в темний час доби без достатнього освітлення.

При роботі на бурильній установці існує небезпека поразки електричним струмом у разі пошкодження силового електричного кабелю буровою головкою або розширювачем, кабель може бути пошкоджений також при установці анкерних якорів.

Бурильну установку слід заземляти до установки анкерних якорів. При установці заземлюючих штирів і анкерних якорів необхідно користуватися діелектричними рукавичками і гумовими чобітьми. Анкерні і упорні пристрої, що фіксують положення бурильної установки, повинні бути розраховані на подвійне тягове зусилля, яке може розвинути установка.

Перед початком роботи необхідно перевірити справність звукової аварійної системи бурильної установки.

– При пошкодженні силового електричного кабелю, що знаходиться під напругою, забороняється:

– операторові - покидати установку (мати), роз'єднувати штанги;

– робочим - рухатися з місця, торкатися що знаходяться поряд установки, змішувача і інших механізмів.

При пошкодженні силового електричного кабелю оператор повинен:
при бурінні пілотної свердловини - витягнути одну штангу назад;

при зворотному розширенні - подати одну штангу вперед.

До продовження робіт приступати тільки після отримання дозволу організації - власника електричного кабелю. Перш ніж продовжити буріння необхідно перевірити працездатність аварійної системи. У разі несправності аварійної системи приступати до роботи забороняється.

Якщо при роботі на установці відбулося пошкодження інших суміжних комунікацій, необхідно повідомити їх власникові про аварію, що відбулася, і припинити працю до отримання дозволу на виробництво робіт.

ВИСНОВКИ

1. Відсутність об’єктивного показника надійності не дозволяє оптимізувати систему подачі і розподілу води по надійності водозабезпечення споживачів.

2. Основою для порівняння надійності забезпечення споживачів при використанні різних мереж послужила вимога будівельних норм і правил, щоб при будь-якій аварії в системі подача не зменшувалась більше ніж на 30%.

3. В процесі дослідження співставлялись мережі за схемами №1 та №2 з кількістю кілець 10 та 8 відповідно для одного й того ж міста. При цьому мережі задовольняють вимогах нормативної документпції.

4. Надійність мереж оцінювалась як за зниженням подачі так і за площею недостатніх напорів при аваріях. Найбільша площа недостатніх напорів спостерігається при аваріях на початкових ділянках й складає 85,1% та 89,0% для мереж за схемами №1 та №2 відповідно.

5. Площа недостатніх напорів при аваріях на початкових ділянках для мережі за схемою №1 менша. Це пов’язано зі збільшенням кількістю кілець шляхом влаштування перемичок, що в свою чергу зменшує довжину ділянок та відповідно вплив їх на загальний опір мережі.

6. Якісно проведена санація трубопроводів дозволяє досягнути наступних результатів:

- запобігти корозії металевих стінок трубопроводів за рахунок пасивного (ізоляції стінок) і активного (утворення на стінках субмикроскопического покровного шара з оксидов заліза) захисних ефектів;

- забезпечити необхідний рівень надійності трубопроводів і знизити аварійність на водопровідних мережах;

- зберегти незмінними (в деяких випадках поліпшити) гідравлічні характеристики, а також стабілізувати натиски за рахунок зменшення

коефіцієнта гідравлічного тертя до рівня, відповідного табличним значенням для неонових труб;

- зберегти якість води, що транспортується від станцій водоподготовки до споживачів, за рахунок відсутності пористого корозійного відкладення, що впливає на збільшення у воді концентрації заліза, зниження концентрацій розчиненого кисня і залишкового хлора.

7. Аналіз і обґрунтування методів прокладання інженерних систем, показав, що найбільш сучасним і перспективним способом відновлення водопровідного трубопроводу є безтраншейний метод, який дає можливість не тільки збільшити експлуатаційну довговічність, але і знизити витрати, пов'язані з їх експлуатацією.

8. У перспективі практика розвитку інженерних комунікацій повинна орієнтуватися на будівництво підземних прохідних каналів загального призначення великих розмірів, в яких могли б розміститися всі міські інженерні мережі або їх велика частина.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Безтраншейне прокладання труб методом ГНБ. URL: https://burinvest.com.ua/services/beztranshejna-prokladka-trub/ (дата звернення 12.10.2024).

2. Вевелер Х. В. Розробка технологічних та організаційних рішень ремонту та відновлення водопровідних трубопроводів. URL: https://studfile.net/preview/8155827/ (дата звернення 10.09.2024).

3. Горизонтальне спрямоване буріння і будівництво підземних комунікацій. URL: http://bud-3.com.ua/gnb/ (дата звернення 11.04.2024).

4. Горизонтально направлене буріння і будівництво підземних комунікацій в місті Києві. URL: http://bud-3.com.ua/regions/kiev/(дата звернення 11.09.2024).

5. Гіроль М.М., Ткачук О.А., Хомко В.Є., Васильєв А.Й., Ковальський Д. Дослідження техніко-економічних параметрів роботи водопровідних систем в умовах скорочення водоспоживання *Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво*. Рівне: РДТУ, 2004 Вип.29.С. 113-119.

6. Добровольська О. Г. Водопровідні мережі : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗНУ, 2022. 221 с.

7. Добровольська О. Визначення впливу структури мережі на розподіл вузлових напорів. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2019. № 12. С. 51-58. URL: https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/issue/view/21/21.

8. Добровольська О., Данкевич С. Аналіз сучасного стану інженерних мереж та застосування методів їх реконструкції. Молода наука–2024 : зб. тез доп. XVII універ. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 17-22 квіт. 2024 р. Запоріжжя, 2024. С. 237–238. URL: https://sites.znu.edu.ua/stud-sci-soc//2009/tom_5_2024.pdf

9. Добровольська О.Г., Данкевич Н.О., Данкевич С.Ю. Удосконалення та модернізація інженерних об’єктів. Зелене будівництво : зб. тез доп. III міжнар. наук.-практ. інтер.-конф., м. Київ, 16-17 квітня 2024 р. Київ, 2024. С. 103–105. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyj-4.pdf

10. Добровольська О.Г., Данкевич Н.О., Данкевич С.Ю. Обґрунтування методів реновації інженерних об’єктів транспортування води. Інженерні інновації та розбудова національної економіки : зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 9-10 трав. 2024 р. Запоріжжя, 2024. С. 758–760. URL: https://www.znu.edu.ua/ukr/znu/university/11929/12623/12803

11. Долина Л. Ф., Машихіна П. Б., Козачина В. А. Реконструкція систем водопостачання та водовідведення : монографія. Дніпро : Журфонд, 2021. 220 с. URL: https://tinyurl.com/537tkp3j.

12. ДБН А.3.2-2-2009. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2012–04–01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2012. 94 с

13. ДБН А.3.1-5-2016. Управління, організація і технологія. Організація будівельного виробництва. [Чинний від 2016–05–05] Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016. 52 с.

14. ДСТУ–Н Б В.2.6-203:2015. Настанова з виконання робіт при виготовленні та монтажу будівельних конструкцій. [Чинний від 2016–04–01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України , 2015. 62 с.

15. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація будівель. [Чинний від 2013–03–01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України , 2013. 134 с.

16. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014–01–01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України , 2013. 134 с.

17. ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування зі зміною №1. [Чинний від 2019–02–01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України , 2019. 298 с.

18. Душкін С.С. Надійність водопровідно-каналізаційних систем : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015.115 с.

19. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України за рік від початку повномасштабного вторгнення. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report-1.pdf. (дата звернення 12.09.2023).

20. Кравчук А.М. Водопостачання і водовідведення : навч. посіб. Київ : КНУБА, 2012. 180 с.

21. Кравченко В.С., Проценко С.Б., Кравченко Н.В. Розрахунок систем інженерного обладнання будівель : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2017. 495 с.

22. Концерн будівництва «Київпідземшляхбуд». Високі технології підземного будівництва. URL : http://kpsb.com.ua/ua/technology/trenchless. (дата звернення 21.09.2024).

23. Методичні рекомендації до написання, оформлення та захисту кваліфікаційної роботи для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійної програми «Водопостачання та водовідведення» денної та заочної форм здобуття освіти / О. Г. Добровольська, та ін. Запоріжжя : ЗНУ, 2024. 52 с.

24. Найманов А.Я. Гостева Ю.В. Показатели качества функционирования систем водоснабжения и канализации *Вісник Донецького університету*. Серія А Природничі науки. Донецьк: ДонНАБА, 2010. Вип. 6 (86). С. 53-57.

25. Правила технічної експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених пунктів України. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-95. (дата звернення 11.10.2024).

26. Пошкоджені комунальні мережі на території запорізької області продовжують відновлювати спеціалісти. URL: https://www.zoda.gov.ua/news/64097/poshkodzheni-komunalni-merezhi-na-teritoriji-zaporizkoji-oblasti-prodovzhujut-vidnovljuvati-spetsialisti.html (дата звернення 10.04.2024).

27. Петросов В. А. Теоретичне обґрунтування і розробка методів інтенсифікації систем водозабезпечення. lис. … докт. техн. наук: 05.23.04. / Харків: ХДТУБА, 2001. 473с.

28. Сучасні технології в будівництві : підручник / за. ред. О.І. Менейлюка. Київ : Освіта України, 2011. 534 с.

29. Технічний стан систем централізованого водопостачання та водовідведення. URL: https://cleanwater.org.ua/tehnichnyj-stan-system-tsentralizovanoho-vodopostachannya-ta-vodovidvedennya/ (дата звернення 10.08.2024).

30. Ткачук О. А. Удосконалення систем подачі і розподілення води населених пунктів : навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2008. 301с.

31. Технічна експлуатація інженерних мереж : навч. посібник / за ред. О. В. Якименко, Н. Г. Морковська ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 289 с.

32. Хоружий П. Д. Водопровідні системи і споруди : навч. посібник. Київ : Вища школа, 1993. 230 с.

33. Standard Design and Construction Guidelines for Microtunneling: ASCE/CI 36-15. *Reston: American Society of Civil Engineers*, 2015. 122 p.

34. Najafi M. Pipeline rehabilitation systems for service life extension. *Service Life Estimation and Extension of Civil Engineering Structures*.2011. C262-289. DOL: https://doi.org/10.1533/9780857090928.2.262.

35. What is horizontal directional drilling (HDD). URL:https://www.hadleeandbrunton.co.nz/what-is-horizontal-directional-drilling/ (дата звернення 11.04.2024).